

VISIT...

LANZAROTE
Caliente.COM

- При написании этой книги использовались материалы, любезно предоставленные фирмами

**FISHER-ROSEMOUNT, YOKOGAWA, ПГ «Метран»,
ОАО «Манометр», «Промтех»**

- Книга издана при финансовой поддержке компании
«AFRISO»

■ Автор выражает благодарность

всему коллективу Завода теплотехнических приборов,
коллегам по Институту повышения квалификации
по новой технике и технологиям.

Рекомендации и замечания рецензентов канд. техн. наук,
доцента Ивановой Галины Михайловны,
заведующего кафедрой АСУ ТП МЭИ (ТУ) докт. техн. наук,
профессора Аракеляна Эдика Кайруновича,
главного метролога Министерства энергетики Республики
Беларусь Арабея Сергея Николаевича во многом были
полезны и улучшили содержание книги.

ОГЛАВЛЕНИЕ

Предисловие	7
1. ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИИ ДАВЛЕНИЯ	12
1.1. Понятия давлений	12
1.2. Единицы измерения	13
1.3. Классификация приборов измерения давления и их основные технические характеристики	15
1.4. Выбор и обозначение манометрических приборов	34
2. ПОКАЗЫВАЮЩИЕ МАНОМЕТРЫ	39
2.1. Общие понятия	39
2.2. Манометры с трубчатой пружиной	47
2.2.1. Принцип действия и конструкции	47
2.2.2. Промышленные манометры	53
2.2.3. Кислородные манометры	67
2.2.4. Дифференциальные манометры	73
2.3. Измерители давления на основе мембран, сильфонов и других упругих элементов	77
2.3.1. Манометры на основе мембран, мембранных коробок, сильфонов	79
2.3.2. Дифманометры	84
3. СТЕКЛЯННЫЕ ЖИДКОСТНЫЕ ПРИБОРЫ	92
3.1. U-образные манометры	93
3.2. Чашечные манометрические приборы	98
3.3. Другие конструкции жидкостных манометров	101
4. СИГНАЛИЗИРУЮЩИЕ МАНОМЕТРЫ	104
4.1. Общие понятия и принцип действия	104
4.2. Промышленные приборы	108
5. ПРИБОРЫ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЫХОДНЫМ СИГНАЛОМ	112
5.1. Чувствительные элементы измерительных преобразователей давления и разрежения с электрическим выходным сигналом	116
5.1.1. Тензопреобразователи	116
5.1.2. Емкостные преобразователи	119
5.1.3. Электромагнитные преобразователи	121
5.1.4. Пьезоэлектрические преобразователи	124
5.2. Преобразователи абсолютного, избыточного давлений и разрежения. Промышленные приборы	129

5.2.1. Тензометрические преобразователи	130
5.2.2. Преобразователи с емкостными сенсорами.....	134
5.2.3. Преобразователи с электромагнитными системами	137
5.2.4. Приборы с пьезорезонансной и другими системами преобразования	143
5.2.5. Особенности производства современных измерительных преобразователей давления и разрежения	145
5.3. Преобразователи разности давлений.	
Промышленные приборы	147
5.3.1. Преобразователи на основе тензометрии	148
5.3.2. Преобразователи с емкостными сенсорами.....	150
5.3.3. Преобразователи с электромагнитными системами	153
5.3.4. Преобразователи на основе резонанса	161
6. РЕГИСТРАТОРЫ ДАВЛЕНИЯ	164
6.1. Самопишущие манометры.....	166
6.2. Автономные регистрирующие устройства	167
6.3. Средства цифровой техники	170
7. ОСНОВЫ ПОВЕРКИ И РАБОЧИЕ ЭТАЛОНЫ	174
7.1. Основные положения поверки и калибровки.....	174
7.2. Рабочие эталоны давления	178
7.2.1. Грузопоршневые манометры.....	179
7.2.2. Приборы серии «Воздух»	189
7.2.3. Показывающие деформационные приборы	191
7.2.4. Измерительные преобразователи типа ИПД	196
7.3. Основные правила проведения поверки и калибровки	198
8. ВСПОМОГАТЕЛЬНЫЕ УСТРОЙСТВА	211
8.1. Разделители и разделительные устройства	211
8.2. Демпферные устройства	225
8.3. Разделительные и уравнильные сосуды	231
8.4. Подводящая и вспомогательная арматура	235
9. ОСНОВНЫЕ ПРАВИЛА МОНТАЖА	245
9.1. Общие положения	245
9.2. Измерение давления газов, пара, жидкостей	252
9.3. Измерение близких к атмосферному давлений газовых сред.....	256
9.4. Монтаж измерительных преобразователей и дифманометров	257
Приложения	261
Библиографический список	272
Предметный указатель.....	275

ПРЕДИСЛОВИЕ

Измерения являются основой организации любого технологического процесса. Несовершенство измерительной техники, отсутствие достаточных знаний по их грамотной эксплуатации приводят часто к большим погрешностям, а иногда и к промахам в измерениях. Только достоверная информация о текущих параметрах технологических процессов предопределяет выход с производственных линий качественной продукции.

Измерительные средства на производственных предприятиях используются как непосредственно для оценки состояния вещества, так и для организации работы систем автоматизированного и автоматического управления.

Разработка и внедрение систем управления нового поколения, например на базе цифрового сигнала, заставляют отказаться от многих ранее использовавшихся приборов. Низкая точность, зависимость показаний от многих внешних факторов, ощутимые наводки на соединительных линиях — все эти и некоторые другие недостатки измерения традиционными манометрическими устройствами вынуждают эксплуатационников переходить на современные измерительные системы, использовать новые способы получения и трансформирования информации, внедрять системы передачи с более совершенными техническими характеристиками.

Основное место в решении изложенных выше задач занимает профессионализм инженерно-технического персонала производственных, проектных, наладочных организаций. В свою очередь профессионализм во многом базируется на подготовке и повышении квалификации инженерно-технического персонала. Подготовка студентов и техников невозможна без соответствующей технической литературы.

Система повышения квалификации инженерно-технических работников может успешно функционировать также только при условии получения информации о современной технике. Особенно это актуально для «киповцев» и «автоматчиков», где уровень применяемых технологий — один из наиболее высоких. Кроме того, в период повышения квалификации достаточно сложно объемный технический материал изложить аудитории, отвыкшей от систематической учебы. Знание конструктивных особенностей и правил эксплуатации средств измерения давления позволяет инженерно-

му персоналу более квалифицированно организовывать технологические процессы промышленных производств, снижать затраты на приобретаемое измерительное оборудование.

Основная цель, которую ставил перед собой автор при написании книги, — систематизация знаний по средствам измерения давления в промышленных условиях, вспомогательным устройствам, обеспечивающим технически грамотную эксплуатацию этих средств. Причем одна из задач заключалась в восполнении пробела, который образовался после выхода из печати в конце 70-х — начале 80-х годов работ известных авторов В.П. Преображенского, С.Ф. Чистякова и других [1—3]. К сожалению, во многих случаях разрыв в уровнях эксплуатируемых в настоящее время в промышленности средств измерения давления и предлагаемых современных разработок достаточно велик и охватить этот информационный промежуток в одном издании не представляется возможным. Поэтому большое внимание уделено приборам, нашедшим широкое применение в прошедшие годы и остающимся в эксплуатации до настоящего времени, анализу актуальных вопросов основополагающего ГОСТ 2405-88 [4] и новым положениям Закона Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» [5].

При изложении материала использованы новые данные Государственного стандарта по основным требованиям и определениям [6]. Современные измерительные преобразователи и системы цифровой связи представлены как вводный материал. Тема метрологии, как и некоторые эталонные системы, представлена в объеме, необходимом только для производственного эксплуатационного персонала.

В некоторых главах сохранена установившаяся ранее терминология названий приборов, во многих терминах, хотя современные требования метрологических служб несколько иные. Предполагается при доступности соответствующих материалов в следующее издание внести корректировки в соответствии с международными рекомендациями и устранить разрыв между ранее установившейся терминологией и современными требованиями.

При написании книги автор не учитывал коммерческие интересы различных фирм. Анализ конструкций измерительных устройств производился только с позиций перспективности данных методов и моделей, преимуществ и недостатков применения их в конкретных промышленных условиях.

При использовании измерительных приборов функционально достигаются следующие цели:

- исследование (с помощью измерительных средств, часто имеющих дополнительные функции и обладающих повышенными метрологическими характеристиками);
- промышленные измерения (обычно осуществляются показывающими приборами, индикаторами, по которым отслеживается измеряемый в технологии производства параметр);
- безопасность (достигается с помощью электроконтактных приборов, специальных схем с измерительными преобразователями, позволяющих отключать технологические процессы при достижении параметров, опасных для здоровья людей и окружающей среды, а также для последующей работоспособности оборудования);
- поверка и калибровка;
- управление процессами (организация автоматического управления различными технологическими процессами на основе информации, получаемой от измерительных преобразователей).

С этих позиций характеризуются производимые в настоящее время приборы и вспомогательные приспособления, а также методы работы с ними. Причем представленная в книге область технических знаний настолько обширна, что охватить ее при написании силами одного автора достаточно сложно. Поэтому книга не может претендовать на представление информации о всех конструкциях существующих манометрических приборов.

В первой главе изложены основные сведения как о традиционных в странах СНГ единицах и средствах измерения давления, так и о приборах, импортируемых из-за рубежа. Приведена информация о классификации измерительных средств по защищенности от воздействия окружающей среды, содержатся сведения о требованиях, предъявляемых к оформлению шкалы. Предложены рекомендации по выбору средства измерения, исходя из оценки особенностей измеряемой среды и условий его эксплуатации, диапазона измерения, класса точности, габаритных и присоединительных размеров.

Промышленные приборы, их конструкции, в особенности виброустойчивых, кислородных, коррозионно-стойких, описаны во второй главе. В ней достаточно подробно рассмотрены манометрические приборы на основе мембран, мембранных коробок, а также дифференциальные показывающие измерители с использованием коробчатых мембран и трубчатых пружин.

В третьей главе читатель сможет познакомиться с конструкциями и основными требованиями по эксплуатации стеклянных манометров.

метрических приборов, по-прежнему занимающих свое место среди измерительных средств.

Особый интерес у инженеров, работающих с КИП, вызовет четвертая глава, в которой описаны различные модели сигнализирующих манометров с разными принципами работы, в том числе и новые промышленные разработки.

В наиболее объемной пятой главе рассматриваются чувствительные элементы, нашедшие достаточно широкое применение в последние годы при производстве манометрических приборов с электрическим выходным сигналом. Приведены схемы и виды измерительных преобразователей с емкостными сенсорами, описаны приборы с пьезорезонансной системой преобразования. Здесь же можно узнать о новых моделях измерительных преобразователей разности давлений, отличающихся уникальными техническими характеристиками и высокой надежностью.

Особенностью шестой главы, в которой описаны регистраторы давления, является параграф о применении средств цифровой техники как для регистрации измеряемых параметров, так и для занесения их в память микропроцессора или персонального компьютера, представления этой информации в любом удобном для восприятия оператором виде.

Седьмая глава посвящена эталонным средствам измерения — грузопоршневым и пружинным. В ней также изложены сведения об организации и методике поверки различных приборов измерения давления. Интересным для читателей будет описание эталонных приборов, работающих на основе мембранных коробок и обеспечивающих поверку измерителей для малых давлений.

Различные демпферные устройства, необходимые для применения в комплекте с измерительными преобразователями, рассмотрены в восьмой главе, объединяющей вспомогательные устройства, применяемые с манометрическими измерительными приборами. Здесь же описаны и запорные устройства — трехходовые краны и игольчатые клапаны. Новшеством являются устройства, обеспечивающие возможность применения контрольных манометров для проверки работоспособности промышленных приборов при давлении 25 МПа и выше, а также повышение безопасности работ при замене технических манометров на действующем оборудовании.

Основные правила монтажа описаны в девятой главе. Достаточно детально рассмотрены методы снижения температуры сред, поступающих от технологического оборудования в измерительные

приборы. Здесь же предложены способы присоединения контрольных манометров к традиционным трехходовым кранам, а также варианты применения блока игольчатых клапанов для подвода измеряемой среды к манометрическим приборам.

Работа на кафедре «Энергетика и энергосберегающие технологии» Института повышения квалификации по новым направлениям развития техники и технологий, где слушателями в основном были инженерные работники цехов тепловой автоматики тепловых электростанций, достаточно большой опыт практической работы автора с этими специалистами по подбору и комплектации производственных подразделений измерительными приборами, разработке средств измерения, контроля и регулирования теплотехнических параметров, большая работа по организации Завода теплотехнических приборов, специализирующегося в основном на производстве приборов измерения давления, включая полный технологический процесс изготовления комплектующих частей, наложили отпечаток на структуру построения и метод изложения материала.

Большой комплекс экспериментальных работ и теоретических исследований был проведен в Московском орденов Ленина и Трудового Красного Знамени энергетическом институте, на Электрогорской научно-испытательной станции. Опыт применения теплотехнических приборов в этих исследованиях также учтен при подборе материалов.

Работа с книгой не требует специальной подготовки, но знание технических дисциплин в рамках программы высшего образования и желание освоить неизвестный материал помогут читателям.

При оформлении рисунков автором в целях повышения иллюстративности приведенных схем, лучшего понимания изложенного материала допущены определенные отклонения от конструкторских норм, что у читателя, как надеется автор, найдет понимание.

Автор будет признателен всем, кто окажет содействие в дальнейшем совершенствовании книги, поможет в подборе дополнительных материалов, направленных на повышение полезности этой работы для специалистов промышленных предприятий.

Автор

Москва, апрель 2003 г.

1 ОСНОВНЫЕ СВЕДЕНИЯ ОБ ИЗМЕРЕНИИ ДАВЛЕНИЯ

1.1. Понятия давлений

Давлением p жидкости, газа или твердого тела, т.е. среды или вещества, называют силу, равномерно действующую на площадь поверхности.

В молекулярно-кинетической теории газа давление рассматривается как результат ударов молекул о стенки сосуда. Давление связано со средней кинетической энергией поступательного движения молекул $mv^2/2$ и их числом N в объеме V следующей известной формулой:

$$p = Nmv^2 / (3V), \quad (1.1)$$

где m — масса молекулы; v^2 — средний квадрат скорости молекулы.

В практике теплотехнических измерений наиболее часто используют понятия давления: абсолютного $p_{\text{абс}}$, избыточного $p_{\text{изб}}$ и вакуумметрического p_v , различие которых состоит в их отношении к атмосферному (барометрическому) давлению $p_{\text{атм}}$. Абсолютное давление, под которым подразумевают суммарное давление, воздействующее на вещество, определяется суммой атмосферного (барометрического) и избыточного давлений:

$$p_{\text{абс}} = p_{\text{атм}} + p_{\text{изб}}. \quad (1.2)$$

Соответственно избыточное давление представляет собой разность между абсолютным и атмосферным:

$$p_{\text{изб}} = p_{\text{абс}} - p_{\text{атм}}. \quad (1.3)$$

Приборы, измеряющие избыточное давление, как следует из (1.3), в действительности являются измерителями разностного (дифференциального) давления. На чувствительный элемент, например трубчатую пружину, точнее на ее внутреннюю полость, воздействует измеряемое давление. Это приводит к изменению ее положения. В это время снаружи такому сдвигу противодействует атмосферное давление. В результате на шкале прибора отображается разница между измеряемым — абсолютным — давлением и давлением внешнего окружения — атмосферным.

Вакуумметрическое давление (вакуум) — давление разреженного газа — определяется как разность между атмосферным и абсолютным давлением, которое ниже атмосферного:

$$P_v = P_{\text{атм}} - P_{\text{абс}} \quad (1.4)$$

Соответственно численное значение вакуумметрического давления указывается со знаком «минус».

Термин «давление» включает понятия «напор» и «тяга», которые приняты только в нашей стране и для которых характерно измерение избыточного и вакуумметрического давлений низких значений, т.е. положительного и отрицательного его значений.

1.2. Единицы измерения

В единой международной системе единиц (система СИ), начавшей действовать в нашей стране в соответствии с ГОСТ 8.417-81 с 1 января 1982 г., принята основная единица давления — *ньютон на квадратный метр* (Н/м^2 , Н/м^2), названная паскалем (Па). Один паскаль — это такое давление, которое испытывает 1 м^2 плоской поверхности под действием равномерно распределенной и перпендикулярно направленной к ней силы в 1 Н (*ньютон*). Единица Па весьма мала, что приводит на практике к использованию *килопаскаля* (кПа) или *мегапаскаля* (МПа).

Система СИ является логическим совершенствованием систем единиц СГС и МКГСС, что обуславливает параллельное их использование. Традиционная единица системы МКГСС (*метр, килограмм-сила, секунда*) *килограмм-сила на квадратный метр* (кгс/м^2) еще встречается в эксплуатируемых в настоящее время манометрических приборах. Многие предприятия традиционно используют такие внесистемные единицы давления, как: *килограмм-сила на квадратный сантиметр* (кгс/см^2 , kgf/cm^2), часто называемая *технической атмосферой* (ат, atm); *миллиметр водяного столба* (мм вод. ст., mm H₂O, mm WS) и *миллиметр ртутного столба* (мм рт. ст., mmHg, torr). При использовании для измерения давления столба жидкости (жидкостные манометры) последний должен быть отнесен к параметрам воды при 4 °С, а ртуть — при 0 °С и нормальном ускорении свободного падения.

Кроме технической может встречаться *физическая атмосфера* (физ. атм.), равная нормальному давлению атмосферного воздуха 760 мм рт. ст. при 0 °С и нормальном ускорении свободного падения ($760 \text{ мм рт. ст.} = 101,325 \text{ кПа} = 1,0332 \text{ кгс/см}^2$).

В физике и астрономии по-прежнему используется система СГС (сантиметр, грамм, секунда). Давление в этой системе представляется как *дина на квадратный сантиметр* ($\text{дин}/\text{см}^2 = 0,1 \text{ Па}$), что в нашей стране встречается очень редко, а также внесистемной единицей бар ($1 \text{ бар} = 10^5 \text{ Па} = 1,0197 \text{ кгс}/\text{см}^2$), получившей широкое распространение во многих странах Западной Европы и принятой в измерении давления европейскими нормами [7—9] за основную.

В ряде случаев импортные приборы могут быть отградуированы в psi (psig , psia , lb/in^2), определяемой как *фунт* ($0,4536 \text{ кгс}$) на *квадратный дюйм* ($6,452 \text{ см}^2$), а также в psf — *фунт на квадратный фут* ($923,03 \text{ см}^2$).

Соотношения между единицами измерения давления, наиболее часто встречающиеся на практике, определяются выражением

$$p_1 = k p_2. \quad (1.5)$$

Значения коэффициента k приведены в табл. 1.1.

Отечественные производители для внутреннего употребления традиционно используют единицу $\text{кгс}/\text{см}^2$, хотя в Российской Федерации в установленном порядке допускаются к применению единицы величин Международной системы единиц, принятой Гене-

Таблица 1.1

Значения коэффициента k для различных единиц давлений выражения (1.5)

P_1	P_2						
	Па	$\text{кгс}/\text{см}^2$	бар	физ. атм.	мм вод. ст.	мм рт. ст.	psi
Па	1	$1,0197 \cdot 10^{-5}$	10^{-5}	$9,8692 \cdot 10^{-6}$	0,101972	$7,5006 \cdot 10^{-3}$	$1,45037 \cdot 10^{-4}$
$\text{кгс}/\text{см}^2$	98066,5	1	0,980665	0,967841	10^4	735,56	14,22333
бар	10^5	1,0197	1	0,986923	10197,2	750,06	14,50377
физ. атм.	$1,01325 \cdot 10^5$	1,03323	1,01325	1	$1,033 \cdot 10^4$	760	14,69594
мм вод. ст.	9,80665	10^{-4}	$9,8067 \cdot 10^{-5}$	$9,6784 \cdot 10^{-5}$	1	$7,356 \cdot 10^{-2}$	$1,4223 \cdot 10^{-3}$
мм рт. ст.	133,322	$1,3595 \cdot 10^{-3}$	$1,3332 \cdot 10^{-3}$	$1,3158 \cdot 10^{-3}$	13,5951	1	$1,9337 \cdot 10^{-3}$
psi	6894,76	$7,0307 \cdot 10^{-2}$	$6,89476 \cdot 10^{-2}$	$6,8046 \cdot 10^{-2}$	703,07	51,7151	1

ральной конференцией по мерам и весам, рекомендованные Международной организацией законодательной метрологии [5].

Закон Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» устанавливает, что характеристики и параметры продукции, поставляемой на экспорт, в том числе средств измерений, могут быть выражены в единицах величин, установленных заказчиком.

Некоторые страны СНГ активно вводят единицу измерения Па.

Немецкий стандарт (DIN 16014) указывал на возможность применения как Па, так и бар. В европейских нормах EN 837-1 [7], имеющих сегодня статус Немецкого стандарта, предпочтительной единицей измерения давления является бар. Стандарт EN 837-3 [9] допускает применять мбар для диапазона давлений ниже 60 кПа.

Приборы импортного исполнения поступают с единицами градуировки кПа, МПа, бар, psi (см. таблицу приставок к единицам измерения СИ в Прилож. 2).

Часто в технических описаниях и практике технических измерений 0,1 МПа приравнена к 1 кгс/см^2 (1 ат). В настоящей книге, когда это не приводит к значительным погрешностям, также принимается такое допущение.

1.3. Классификация приборов измерения давления и их основные технические характеристики

Приборы для измерения давления могут классифицироваться по следующим характеристикам:

- виду измеряемого давления;
- принципу действия;
- назначению;
- классу точности.

По виду измеряемого давления приборы подразделяются на следующие:

- манометры;
- вакуумметры;
- мановакуумметры;
- напоромеры;
- тягомеры;
- тягонапоромеры;
- дифманометры;
- микроманометры;
- барометры.

Согласно ГОСТ 8.271-77 манометр — это измерительный прибор или измерительная установка для измерения давления или разности давлений.

Для измерения абсолютного давления, т.е. такого, которое считывается от абсолютного нуля, выпускаются манометры абсолютного давления; для измерения избыточного — манометры избыточного давления, и наиболее часто «по умолчанию» эти разновидности приборов называют *манометрами*.

Большинство выпускаемых манометров применяются для измерения избыточного давления. Их отличительным признаком является показание «нуля» прибора при воздействии на чувствительный элемент атмосферного давления.

Измерение давления разреженного газа производят вакуумметрами. Соответственно вакуумметр — это манометр для измерения давления разреженного газа [10].

Манометр, имеющий возможность измерять давление разреженного газа и избыточное давление (у прибора единая шкала), называют *мановакуумметром*.

Измерение малых значений (до 40 кПа) избыточного давления производится *напоромерами*, хотя такое название, как и такое подразделение по виду измеряемого давления (для малых значений), за рубежом отсутствует. *Тягомеры* используются для измерения малого (до –40 кПа) вакуумметрического давления. Приборы, имеющие часть шкалы вакуумметрического, а часть избыточного давления в пределах ± 20 кПа, называются *тягонапоромерами*. Европейские стандарты (EN837-1, EN837-2 и EN837-3 [7—9]) такое разделение производят по виду чувствительного элемента: трубчатый (Bourdon tube — Rohrfedern), мембранный — мембранная коробка — капсула (Diaphragm — Plattenfeder или Capsule — Kapselfeder).

Приборы, предназначенные для измерения разности давлений в двух произвольных точках, именуют *дифференциальными манометрами* (дифманометрами). Причем это название в большей степени применимо для показывающих приборов. Устройство измерения дифференциального давления с унифицированным выходным сигналом называют измерительным преобразователем разности давлений [11].

Дифманометр, функционально обеспечивающий измерение малых значений разности двух давлений и имеющий верхний предел

измерения не более 40 кПа (4000 кгс/м^2), называют *микроманометром*.

Контроль и измерение атмосферного давления производят *барометрами*.

В дальнейшем для упрощения изложения материала в непринципиальных моментах манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры, тягонапоромеры объединены под названием *манометры* или *манометрические приборы*.

По принципу действия основную группу приборов для измерения давлений можно подразделить на следующие:

- жидкостные;
- деформационные (пружинные);
- грузопоршневые;
- электрические и др.

К *жидкостным* относятся манометры, принцип действия которых основан на уравнивании измеряемого давления или разности давлений давлением столба жидкости [10]. К таким манометрам относятся U-образные манометры, состоящие из сообщающихся сосудов, в которых измеряемое давление определяют по одному или нескольким уровням жидкости.

В *деформационных манометрах* от измеряемого давления зависит степень деформации чувствительного элемента или развиваемой им силы. В состав деформационных входит трубчато-пружинный манометр, в котором чувствительным элементом является трубчатая пружина. Сильфонный функционирует на основе сильфона, мембранный — на основе мембраны или мембранной коробки.

Манометр с вялой мембраной, в котором измеряемое давление воспринимается вялой мембраной и преобразуется в силу, уравниваемую дополнительным устройством, также относится к деформационным.

В *грузопоршневых* приборах, имеющих в большинстве случаев в качестве рабочего тела жидкость и часто называемых жидкостными, измеряемое давление уравнивается давлением, создаваемым массой поршня с грузоприемным устройством, и массой грузов с учетом сил жидкостного трения.

Электрические манометры функционируют по принципу зависимости одного из электрических параметров чувствительного элемента первичного преобразователя от давления.

По назначению манометры подразделяются на следующие:

- общепромышленные, имеющие также название общетехнических или рабочих;

- эталонные, включающие государственный первичный, рабочие и другие эталоны.

Общепромышленные манометры предназначены для измерения давления непосредственно в ходе производственных процессов в рабочих точках промышленного оборудования.

Эталонные приборы используются для хранения и передачи размера единиц давления в целях единообразия, достоверности и обеспечения высокой точности его измерений.

В целях упорядочения отечественной метрологической терминологии и приближения ее к международной в нашей стране термин *образцовое средство измерений* заменен на термин *рабочий эталон* [6]. Рабочие эталоны подразделяют на разряды (1, 2, 3-й), как это было принято для образцовых средств (см. гл. 7).

В промышленности встречаются *контрольные* манометры, которые применяются для контроля правильности показаний технических манометров в местах их установки. Термин «контрольные» специфичен для промышленных условий и не имеет места в законодательной метрологии настоящего времени, но широко использовался ранее. Вместо него сейчас используют термин «манометры повышенной точности».

По защищенности от воздействия окружающей среды приборы, согласно ГОСТ 12997-84 [12], подразделяют на следующие исполнения: обыкновенное; защищенное от попадания внутрь изделия твердых тел (пыли); защищенные от попадания внутрь изделия воды; защищенные от агрессивной среды; взрывозащищенные; защищенные от других внешних воздействий. Несколько видов защиты может сочетаться в одном изделии.

Изготавливаемые приборы должны быть устойчивыми и (или) прочными к воздействию температуры и влажности окружающего воздуха в диапазонах параметров, указанных в табл. 1.2.

Приборы должны быть устойчивыми и (или) прочными к воздействию синусоидальных вибраций высокой частоты с параметрами, по группе исполнения выбираемыми из табл. 1.3.

Общетехнические манометры конструктивно предусматривают устойчивость к вибрациям с частотой 10—55 Гц и амплитудой смещения до 0,15 мм.

Система кодификации по защите приборов от попадания внутрь изделия твердых тел (пыли), а также воды устанавливается ГОСТ 14254-96 [13]. Для такой кодификации применяется обозначение «IP».

Таблица 1.2

**Группы исполнений технических изделий по устойчивости
к температуре и влажности [12]**

Группа исполнения	Диапазон температуры окружающего воздуха, °C		Верхнее значение относительной влажности, %	Место размещения или эксплуатации
	нижнее значение	верхнее значение		
B1	10	35	75 при 30 °C и более низких температурах без конденсации влаги	Обогреваемые и (или) охлаждаемые помещения без непосредственного воздействия солнечных лучей, осадков, ветра, песка и пыли, отсутствие или незначительное воздействие конденсации
B2	5	40		
B3	5	40	90 при 30 °C и более низких температурах, без конденсации влаги	
B4	5	40	80 при 30 °C и более низких температурах, без конденсации влаги	
C1	-25	55	100 при 30 °C и более низких температурах, с конденсацией влаги	Помещения с нерегулируемыми климатическими условиями и (или) навесы. Изделия могут быть влажными в результате конденсации, вызванной резкими изменениями температуры или в результате воздействия заносимых ветров осадков и капель воды
C2	-40	70		
C3	-10	50	95 при 35 °C и более низких температурах, без конденсации влаги	
C4	-30	50		
D1	-25	70	100 при 40 °C и более низких температурах, с конденсацией влаги	Открытое пространство. Изделия подвергаются воздействию атмосферных осадков (непосредственный нагрев солнечными лучами, ветер, капли воды, снег, град, обледенение). Могут появляться резкие изменения температуры, изделия могут быть влажными в результате конденсации, воздействия осадков, брызг, утечек
D2	-50	85, 100, 125, 155, 200		
D3	-50, -60, -65	50	95 при 35 °C и более низких температурах, без конденсации влаги	

Таблица 1.3

**Группы исполнения по устойчивости к воздействию
синусоидальных вибраций [12]**

Группа исполнения	Частота, Гц	Амплитуда смещения для частоты ниже частоты перехода**, мм	Ускорения для частоты выше частоты перехода, м/с ²	Размещение
L1	5—35	0,35	—	Места, защищенные от существенных вибраций. Могут появляться вибрации только низкой частоты
L2		0,75	—	
LX		—	—	
(L3)*	(5—25)*	(0,1)*	—	
N1	10—55	0,15	—	Места, подверженные вибрации от работающих механизмов. Типовое размещение на промышленных объектах
N2		0,35	—	
NX		—	—	
(N3)*	(5—80)*	(0,075)*	(9,8)*	Места на промышленных объектах при условии, что существует вибрация с частотой, превышающей 55 Гц
(N4)*		(0,15)*	(19,6)*	
V1	10—150	0,075	9,8	
V2		0,15	19,6	
V3		0,35	49,0	
VX		—	—	
(V4)*	(5—120)*	(0,15)*	(19,6)*	
(V5)*		(0,2)*	(29,4)*	
F1	10—500	0,075	9,8	Места, расположенные вблизи помещений, в которых установлены работающие авиационные двигатели
F2		0,15	19,6	
F3		0,35	49,0	
FX		—	—	
G1	10—2000	0,35	49,0	Места, расположенные вблизи помещений, в которых установлены работающие авиационные двигатели
G2		0,75	98,0	
GX		—	—	
G3*	5000*	3,5*	490,0*	

*По требованию потребителя.

**Частота перехода — 57—62 Гц.

Обозначение «IP» (International Protection — Международная защита) принято Международной электрической комиссией (МЭК) в качестве стандарта защиты изделий (МЭК 529-89).

После обозначения «IP» является обязательным указание двух характеристических цифр. Первая характеристическая цифра (от 0 до 6) обозначает степень защиты от попадания внутрь посторонних твердых тел (табл. 1.4).

Таблица 1.4

Степени защиты от внешних предметов, обозначаемых первой характеристической цифрой (ГОСТ 14254-96) [13]

Первая характеристическая цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
0	Нет защиты	—
1	Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 50 мм	Щуп-предмет — сфера диаметром 50 мм — не должен проникать полностью*
2	Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 12,5 мм	Щуп-предмет — сфера диаметром 12,5 мм — не должен проникать полностью*
3	Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 2,5 мм	Щуп-предмет — сфера диаметром 2,5 мм — не должен проникать ни полностью, ни частично*
4	Защищено от внешних твердых предметов диаметром больше или равным 1,0 мм	Щуп-предмет — сфера диаметром 1,0 мм — не должен проникать ни полностью, ни частично*
5	Пылезащищено	Проникновение пыли исключено не полностью, однако пыль не должна проникать в количестве, достаточном для нарушения нормальной работы оборудования или снижения его безопасности
6	Пыленепроницаемо	Пыль не проникает в оболочку

*Наибольший диаметр щупа-предмета не должен проходить через отверстие в оболочке.

Вторая характеристическая цифра обозначает степень защиты, обеспечиваемую корпусом прибора от вредного воздействия воды на работу измерителя.

Испытания на соответствие второй характеристической цифре проводят на пресной воде. Такие испытания на технической воде высокого давления или растворителях не представительны.

В табл. 1.5 приведены краткое описание и определение защиты для каждой степени, представленной второй характеристической цифрой.

Перечисленные в табл. 1.4 и 1.5 степени защиты следует нормировать, как указывает ГОСТ 14254-96 [13], только с использованием характеристических чисел, а не с помощью краткого описания или определения. Например, большинство общетехнических показывающих манометров имеют степень защиты IP 40, что указывает на невозможность попадания в условиях эксплуатации внутрь корпуса механических частиц диаметром более 1 мм. Корпус прибора не имеет защиты от воздействия воды.

Европейские нормы, как и ГОСТ 14254-96, базируются на едином положении МЭК 529-89, что обеспечивает идентичность маркировки по IP как у нас в стране, так и за рубежом.

Диапазон показаний манометрических приборов должен выбираться из ряда, приведенного в табл. 1.6 (ГОСТ 2405-88 [4]), и из технических условий (ТУ) на прибор конкретного типа. Этот ГОСТ допускает изготавливать по заказу потребителя приборы с диапазоном показаний, отличным от указанных в табл. 1.6, в том числе манометры с верхними пределами измерений 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600 мм вод. ст. и 1,2 МПа (12 кгс/см²).

Европейская норма EN 837-3 [9] рекомендует при использовании единицы измерения Па в соответствующем диапазоне руководствоваться следующим положением:

- от 0 до 100 — 1000 Па — использовать Па;
- от 0 до 1,6 — 1000 кПа — кПа;
- от 0 до 1,6 — 2,5 МПа — МПа.

Рабочие диапазоны измерений избыточных давлений отечественных манометрических приборов должны быть от 0 до 100 % или от 25 до 75 % диапазона показаний.

ГОСТ 2405-88 [4] регламентирует диапазон уставок приборов с сигнализирующим устройством:

от 5 до 95 % диапазона показаний — для диапазона измерений от 0 до 100 %;

Таблица 1.5

Степени защиты от воды, обозначаемые с помощью второй характеристической цифры (ГОСТ 14254-96) [13]

Первая характеристическая цифра	Степень защиты	
	Краткое описание	Определение
0	Нет защиты	—
1	Защищено от вертикально падающих капель воды	Вертикально падающие капли воды не должны оказывать вредного воздействия
2	Защищено от вертикально падающих капель воды, когда оболочка отклонена на угол до 15°	Вертикально падающие капли воды не должны оказывать вредного воздействия, когда оболочка отклонена от вертикали на угол до 15° включительно
3	Защищено от воды, падающей в виде дождя	Вода, падающая в виде брызг в любом направлении, составляющем угол до 60° включительно с вертикалью, не должна оказывать вредного воздействия
4	Защищено от сплошного обрызгивания	Вода, падающая в виде брызг на оболочку с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия
5	Защищено от водяных струй	Вода, направляемая на оболочку в виде струй с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия
6	Защищено от сильных водяных струй	Вода, направляемая на оболочку в виде сильных струй с любого направления, не должна оказывать вредного воздействия
7	Защищено от воздействия при временном (непродолжительном) погружении в воду	Должно быть исключено проникновение воды внутрь оболочки в количестве, вызывающем вредное воздействие, при ее погружении на короткое время при стандартизованных условиях по давлению и длительности
8	Защищено от воздействия при длительном погружении в воду	Должно быть исключено проникновение воды в оболочку в количествах, вызывающих вредное воздействие, при ее длительном погружении в воду при условиях, согласованных между изготовителем и потребителем, однако более жестких, чем условия для цифры 7

Таблица 1.6

Пределы измерения для манометрических приборов согласно ГОСТ 2405-88 [4]

Диапазон показаний (записи) давления		
избыточного	избыточного и вакуумметрического	вакуумметрического
В единицах Па (кгс/м^2)		
От 0 до 160 (от 0 до 16)	От -60 до 100 (от -6 до 10)	От -160 до 0 (от -16 до 0)
0...250 (0...25)	-80...80 (-8...8)	
0...400 (0...40)	-100...150 (-10...15)	-250...0 (-25...0)
0...600 (0...60)	-125...125 (-12,5...12,5)	-400...0 (-40...0)
0...250 (0...25)	-150...250 (-15...25)	-600...0 (-60...0)
	-200...200 (-20...20)	
	-300...300 (-30...30)	
В единицах кПа (кгс/м^2)		
От 0 до 1 (от 0 до 100)	От -0,4 до 0,6 (от -40 до 60)	От -1 до 0 (от -100 до 0)
0...1,6 (0...160)	-0,5...0,5 (-50...50)	-1,6...0 (-160...0)
0...2,5 (0...250)	-0,6...0,4 (-60...40)	-2,5...0 (-250...0)
0...4 (0...400)	-0,6...1 (-50...50)	-4...0 (-400...0)
0...6 (0...600)	-1...0,6 (-100...60)	-6...0 (-600...0)
0...10 (0...1000)	-1...1,5 (-100...150)	-10...0 (-1000...0)
	-1,25...1,25 (-125...125)	-16...0 (-1600...0)
0...16 (0...1600)	-1,5...1 (-150...100)	-25...0 (-2500...0)
	-1,5...2,5 (-150...250)	-40...0 (-4000...0)
0...25 (0...2500)	-2...2 (-200...200)	
0...40 (0...4000)	-2...4 (-200...400)	
	-2,5...1,5 (-250...150)	
	-3...3 (-300...300)	
	-4...2 (-400...200)	
	-4...6 (-400...600)	
	-5...5 (-500...500)	
	-6...4 (-600...400)	
	-6...10 (-600...1000)	
	-8...8 (-800...800)	
	-10...6 (-1000...600)	
	-12,5...12,5 (-1250...1250)	
	-15...10 (-1500...1000)	
	-20...20 (-2000...2000)	

Окончание табл. 1.6

Диапазон показаний (записи) давления		
избыточного	избыточного и вакуумметрического	вакуумметрического
В единицах кПа (кгс/см ²)		
От 0 до 60 (от 0 до 0,6)	От -20 до 40 (от -0,2 до 0,4)	От -60 до 0 (от -0,6 до 0)
0...100 (0...1)		-100...0 (-1...0)
20...100 (0,2...1)	-25...15 (-0,25...0,15)	
0...160 (0...1,6)	-40...60 (-0,4...0,6)	
0...200 (0...2)	-100...60 (-1...0,6)	
0...250 (0...2,5)	-100...150 (-1...1,5)	
0...400 (0...4)	-100...300 (-1...3)	
0...600 (0...6)	-100...500 (-1...5)	
0...40 (0...4000)		
В единицах МПа (кгс/см ²)		
От 0 до 1 (от 0 до 10)	От -0,1 до 0,9 (от -1 до 9)	
0...1,6 (0...16)	-0,1...1,5 (-1...15)	
0...2,5 (0...25)	-0,1...2,4 (-1...24)	
0...4 (0...40)	-0,1...4 (-1...40)	
0...6 (0...60)	-0,1...6 (-1...60)	
0...10 (0...100)		
0...16 (0...160)		
0...25 (0...250)		
0...40 (0...400)		
0...60 (0...600)		
0...100 (0...1000)		
0...160 (0...1600)		
0...250 (0...2500)		
0...400 (0...4000)		
0...600 (0...6000)		
0...1000 (0...10000)		

от 25 до 75 % диапазона показаний — для диапазона измерений от 25 до 75 %.

Некоторые зарубежные производители пружинных манометров предусматривают использование манометрических приборов для пределов от 0 до 75 % диапазона показаний и соответственно производят регулировку только на этом участке, чем обуславливается

Таблица 1.7

**Пределы измерения манометрических приборов
согласно EN 837-1, EN 837-3 [7, 9]**

Диапазоны измерений положительных давлений, мбар		
От 0 до 1	От 0 до 10	От 0 до 100
От 0 до 1,6	От 0 до 16	От 0 до 160
От 0 до 2,5	От 0 до 25	От 0 до 250
От 0 до 4	От 0 до 40	От 0 до 400
От 0 до 6	От 0 до 60	От 0 до 600
Диапазоны измерений вакуумметрических давлений, мбар		
От -1 до 0	От -10 до 0	От -100 до 0
От -1,6 до 0	От -16 до 0	От -160 до 0
От -2,5 до 0	От -25 до 0	От -250 до 0
От -4 до 0	От -40 до 0	От -400 до 0
От -6 до 0	От -60 до 0	От -600 до 0
Диапазоны измерений положительных давлений, бар		
От 0 до 0,6	От 0 до 10	От 0 до 160
От 0 до 1	От 0 до 16	От 0 до 250
От 0 до 1,6	От 0 до 25	От 0 до 400
От 0 до 2,5	От 0 до 40	От 0 до 600
От 0 до 4	От 0 до 60	От 0 до 1000
От 0 до 6	От 0 до 100	От 0 до 1600
Диапазоны измерений вакуумметрических давлений, бар		
От -0,6 до 0	От -1 до 0	
Диапазоны измерений положительных и вакуумметрических давлений, бар		
От -1 до 0,6	От -1 до 9	
От -1 до 1,5	От -1 до 15	
От -1 до 3	От -1 до 24	
От -1 до 5		

возможность невхождения этих приборов в класс точности на заключительном участке шкалы.

Отечественные производители обязаны обеспечивать выпуск приборов с соблюдением заявленного класса точности на всех обозначенных на циферблате прибора цифровых отметках.

Кроме того, поверку прибора отечественные метрологические службы производят по восьми значениям давления для классов точности 0,4 и 0,6 и не менее чем на пяти точках шкалы для классов точности 1,0; 1,5; 2,5 и 4,0. Практически такие же требования предъявляются немецким стандартом. Метрологические службы некоторых предприятий зарубежных стран, по наблюдениям автора, устанавливают для общетехнических манометров поверку по трем значениям давления, что сказывается на точности измерения.

Европейские нормы [7, 9] устанавливают соответствие заявленному классу точности диапазон шкалы прибора от 10 до 100 % для измерителей, на циферблате которых установлен упор, и от 0 до 100 % для устройств с циферблатами без упора.

Для выпускаемых отечественными предприятиями манометров выбирают значения **классов точности** из ряда: 0,4; 0,6; 1,0; 1,5; 2,5; 4,0 [4]. Манометрические приборы с классами точности 0,4 и 4,0 изготавливаются по заказу потребителя.

Согласно рекомендациям по межгосударственной стандартизации РМГ 29-99 [6], **класс точности** — это обобщенная характеристика данного типа средств измерений, как правило, отражающая уровень их точности, выражаемая пределами допускаемых основной и дополнительных погрешностей, а также другими характеристиками, влияющими на точность.

В большинстве случаев класс точности k принимается равным отношению абсолютной погрешности средства измерения Δ к нормирующему значению (верхнему пределу измерения Σ), выраженному в процентах:

$$k = \Delta / \Sigma \cdot 100 \%. \quad (1.6)$$

ГОСТ 2405-88 [4] регламентирует для значений класса точности соответствующие пределы основной допускаемой погрешности (табл. 1.8), определяемой в процентах для манометров и вакуумметров от верхнего предела измерений и для мановакуумметров в процентах от абсолютного значения всего диапазона измерений.

Европейские стандарты в большинстве случаев идентичны ГОСТ. Например, EN 837-1 и EN 837-3 [7, 9] устанавливают для

Таблица 1.8

Значения принятых классов точности [4]

Класс точности	Предел допускаемой основной погрешности, %
0,4*	$\pm 0,4$
0,6	$\pm 0,6$
1,0	± 1
1,5	$\pm 1,5$
2,5	$\pm 2,5$
4,0*	± 4

* Применяется по индивидуальному заказу потребителя.

манометрических приборов следующие классы точности: 0,6; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0 и несколько различающийся 1,6.

Во всех производимых показывающих манометрических приборах диаметр корпуса должен соответствовать классу точности. ГОСТ 2405-88 [4] устанавливает для них соотношения, приведенные в табл. 1.9. Допускаются отклонения от приведенных в таблице значений, но они должны быть отражены в технических условиях на прибор. Например, на одном из отечественных заводов готовятся к производству эталонные показывающие манометры с классом точности 0,4 и даже 0,25 в корпусе диаметром 160 мм, что отражено в соответствующей документации.

Импортные приборы, диаметр корпуса которых составляет 63 мм, могут иметь, как это показано в табл. 1.10, класс точности

Таблица 1.9

Соответствие диаметра корпуса и класса точности согласно ГОСТ 2405-88 [4]

Диаметр корпуса, мм	Класс точности прибора к					
	0,4	0,6	1,0	1,5	2,5	4,0
40, 50	—	—	—	—	+	+
63	—	—	—	+	+	+
100	—	—	+	+	+	—
160	—	+	+	+	+	—
250	+	+	+	+	—	—

Таблица 1.10

**Соответствие диаметра корпуса и класса точности
согласно EN 837-1 и EN 837-3 [7, 9]**

Диаметр корпуса, мм	Класс точности, κ						
	0,1	0,25	0,6	1,0	1,6	2,5	4,0
40, 50	—	—	—	—	+	+	+
63	—	—	—	+	+	+	+
80	—	—	—	+	+	+	+
100	—	—	+	+	+	+	—
150 и 160	—	+	+	+	+	—	—
250	+	+	+	+	+	—	—

1,0, а манометры с диаметром корпуса 100 мм могут производиться с классом точности 0,6.

В последние годы наметилось активное сотрудничество российских метрологических служб с европейскими метрологическими комитетами. Отмечается более лояльное отношение служб надзора за метрологией на предприятиях к производству манометрических приборов с техническими характеристиками, формируемыми на основе заявки потребителя.

Предел допускаемой основной погрешности, приведенной в табл. 1.8, наблюдается только для приборов, эксплуатируемых при температуре окружающей среды 20 или 23 °С. Конкретное значение температуры устанавливается в ТУ на прибор соответствующего типа. Допустимое отклонение температуры определено следующими значениями:

$\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ — для приборов классов точности 0,4; 0,6 и 1,0;

$\pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ — для приборов классов точности 1,5; 2,5 и 4,0.

При варьировании температуры выше относительно установленного предела изменение показаний манометрического прибора Δ может быть определено по формуле

$$\Delta = \pm K_t t_{\Delta}, \quad (1.7)$$

где K_t — температурный коэффициент, численные значения которого определены ГОСТ 2405-88 [4] и не должны превышать 0,06 %/°С для приборов классов 0,4; 0,6; 1,0; 1,5 и 0,1 %/°С для приборов клас-

сов точности 2,5 и 4,0; t_{Δ} — абсолютное значение разности температур:

$$t_{\Delta} = |t_2 - t_1|. \quad (1.8)$$

Здесь t_1 — требуемая температура окружающей среды (23 °С); t_2 — действительное значение температуры, которое, как правило, ограничено пределами от -50 до 60 °С.

Значения коэффициентов K_f для европейских производителей согласно EN 837-1 и EN837-3 [7, 9] в зависимости от чувствительного элемента определены как:

- 0,04 %/°С для манометров на основе трубчатых элементов;
- 0,06 %/°С для измерителей давления на основе мембранного блока (capsule);
- 0,08 %/°С для манометрических приборов, функционирующих на основе мембраны.

Согласно (1.7), с учетом реальных температурных коэффициентов приборов погрешность проводимых измерений может быть существенной. Так, при измерении давления прибором класса точности 2,5 при температуре окружающей среды - 40 °С для соблюдения заявленного класса точности измерителя необходимо вводить дополнительно поправку 6 %. Такие поправки не принято вводить для рабочих средств измерений, но для квалифицированного проведения измерений это необходимо знать.

Температурный диапазон работы показывающих манометрических приборов, производимых отечественными предприятиями, определяется соответствующими ТУ на изделие и наиболее часто соответствует группе исполнения D3 (см. табл. 1.2) и находится в пределах от -50 до 50 °С.

Импортные манометры, как правило, рекомендованы к эксплуатации, согласно данным [7—9], при температурах от -20 до 60 °С.

По устойчивости к воздействию температуры и влажности окружающего воздуха и атмосферного давления показывающие манометрические приборы, как это отмечено выше, должны соответствовать одной из групп исполнения по ГОСТ 12997-84 [12].

Для других температурных условий производятся специальные измерители давления. Так, для условий повышенных температурных воздействий окружающей среды некоторые фирмы выпускают показывающие манометры, которые могут эксплуатироваться при температурах до 200 °С. Однако их применение осложнено необходимостью поверки на специальном метрологическом оборудовании, когда испытания производятся одновременно как

Таблица 1.11

Размеры присоединительных резьб

Производители	
отечественные	зарубежные
M10×1 — 6g; M12×1,5 — 8g;	G1/8 B; G1/4B;
M16×1,5 — 8g; M20×1,5 — 8g	G1/2B; G3/8B

Таблица 1.12

Допустимые пределы перегрузки манометрических приборов

Верхний предел измерений, МПа	Перегрузка к верхнему пределу измерений избыточного давления, %
До 10 вкл.	25
Св. 10 до 60 вкл.	15
Св. 60 до 160 вкл.	10
Св. 160 до 1000 вкл.	5

по измеряемому давлению, так и по температурному внешнему воздействию.

Существенное различие манометрических измерительных приборов отечественных и зарубежных производителей заключается в размерах и типе присоединительного штуцера. На отечественных заводах изготавливают измерители с метрической присоединительной резьбой, в то время как зарубежные (см. п. 2.2.2) наиболее часто применяют дюймовые (трубные) типы присоединения (табл. 1.11).

Манометры и мановакуумметры отечественного производства должны выдерживать, согласно ГОСТ 2405-88 [4], кратковременное перегрузочное давление (табл. 1.12). Зарубежные манометрические приборы должны также выдерживать, согласно европейским нормам [7, 9], в основном такие же предельные давления.

На циферблате показывающего или самопишущего прибора [4] кроме разметки шкалы, ее цифровых отметок должны быть нанесены:

- единицы измерений;
- знак «-» (минус) перед числом, обозначающим верхний предел измерений вакуумметрического давления;

- класс точности;
- условное обозначение рабочего положения прибора, если оно отличается от нормального;
- наименование или условное обозначение измеряемой среды — при специальном исполнении прибора.

Кроме этого, на циферблат манометра рекомендуется наносить следующую информацию:

- условное обозначение прибора;
- знак Государственного реестра;
- товарный знак предприятия-изготовителя.

Немецкий стандарт кроме отмеченных выше особенностей регламентирует нанесение на циферблат прибора обозначения типа измерительного элемента.

Европейские нормы [7, 9] обязывают указывать на циферблате материал частей измерительного прибора, которые контактируют с измеряемой средой и изготовлены не из латуни или бронзы, а также товарный знак изготовителя и (или) поставщика. Кроме того, на циферблате прибора рекомендуется наносить номер нормы или стандарта, по которому произведен прибор.

Нумерация шкалы общепромышленных манометров может производиться по заказу потребителя.

Отечественный стандарт требует указания передающего давление вещества (газ или жидкость) в случаях, когда такая замена приводит к погрешностям более 1/4 ее предельного значения.

Возможно нанесение ряда обозначений на корпус прибора или их указание в прилагаемом паспорте или техническом описании на измеритель, что следует согласовывать с соответствующим центром стандартизации.

В табл. 1.13 приведены дополнительные условные обозначения, разрешенные к нанесению на шкале приборов, предназначенных для измерения давления сред с определенными свойствами.

В зависимости от функционального назначения приборов допускается выделять отдельные элементы шкалы ярким цветом (зеленым, желтым, красным). При этом, как правило, желтым цветом выделяют выход измеряемого параметра из нормы, а красным цветом — его аварийное состояние [4].

Таблица 1.13

Условные обозначения, наносимые на циферблаты специальных приборов [4]

Предмет обозначения	Наименование	Форма условного обозначения	Примечание
Измеряемая среда	Кислород Маслоопасно		Обозначение при градуировке или измерении среды
	Ацетилен		
	Газ		
	Жидкость		
	Водород		
	Сероводород		
	Аммиак		
	Хладон		<i>n</i> - числовое обозначение хладона
Диапазон измерений избыточного давления	Диапазон измерений равен диапазону показаний		
Рабочее положение прибора	Рабочее положение с отклонением от вертикали (например, 60°)		Рабочее положение 90° не обозначают
	Горизонтальное положение		

1.4. Выбор и обозначение манометрических приборов

Для практического использования выбор показывающего манометрического измерительного средства необходимо начинать с определения:

- оценки особенностей измеряемой среды и условий эксплуатации прибора;
- диапазона измерения;
- класса точности;
- габаритных размеров;
- присоединительных размеров.

Стандартный диапазон измерения показывающего манометрического прибора принимается из табл. 1.6. Для нестандартных диапазонов измерения, как и для приборов, у которых шкала начинается с определенного значения, требуется обсуждение этого вопроса с изготовителем.

Для уменьшения погрешности измерения, как это следует из (1.6), измеряемый диапазон устройства рекомендуется принимать минимальным для предполагаемого максимального значения рабочего параметра с учетом рекомендуемой работы $3/4$ шкалы.

Класс точности манометра выбирается из табл. 1.8 и рекомендуется: 2,5 и 1,5 — для промышленных процессов; 1,0 и 0,6 — для контроля работоспособности промышленных приборов или в условиях повышенных требований к точности результатов измерений.

Присоединительные размеры даны в табл. 1.11 (более подробно см. п. 2.2.2).

Каждому габаритному ряду манометрических приборов соответствуют свои размеры циферблата, корпуса и присоединительного штуцера. Однако следует учитывать: чем больше диаметр корпуса показывающего манометра, тем выше его стоимость. Так, стоимости манометров с диаметрами корпусов 63 и 100 мм могут различаться в 3—5 раз.

Варианты исполнения приборов для различных сред не описаны выше, поэтому необходимо остановиться на них более подробно (детально каждый вид показывающего манометрического прибора проанализирован в следующей главе).

По особенностям измеряемой рабочей среды манометрические приборы можно подразделить на следующие:

- общетехнические;
- коррозионно-стойкие (кислотостойкие);
- виброустойчивые;

- специальные;
- кислородные;
- газовые.

В **общепромышленных** манометрах, предназначенных для эксплуатации в нормальных условиях промышленных предприятий, держатели и чувствительные элементы изготовлены из медных сплавов.

В **коррозионно-стойких** манометрических устройствах подводящий штуцер-держатель и чувствительный элемент выполнены из нержавеющей стали. Традиционно для подводящих и присоединительных штуцеров, передаточных механизмов и корпусов отечественными производителями используется нержавеющая сталь 12Х18Н9(10)Г. В Германии широкое применение для этих целей получила сталь 1.4571 следующего химического состава: С менее 0,08 %; Si менее 1 %; Mn менее 2 %; Cr 16,5—18,5 %; Mo 2,0—2,5 %; Ni 10,5—13,5 %; Ti менее 0,8 %. В ряде других зарубежных стран эта сталь имеет обозначение 316. Чувствительные элементы таких приборов также выполняются из нержавеющей стали, но во многих случаях другого химического состава.

Виброустойчивые манометры предназначены для эксплуатации в условиях повышенных внешних вибраций и пульсаций измеряемой среды.

К **специальным** отнесены приборы, применяемые в неагрессивных средах, которые взаимодействуют с медными сплавами. Таковыми являются манометрические устройства, предназначенные для измерения давления аммиачных сред. Их чувствительный элемент изготавливается из упругой нержавеющей (хорошими упругими свойствами обладают стали 36НХТЮ и 42НХТЮ) или углеродистых сталей. Штуцер изготавливается из обычной стали.

Специальными называются также приборы, работающие с вязкими средами, а также кристаллизующимися веществами и веществами, содержащими твердые частицы. В них присоединительный штуцер выполняется большого проходного сечения (30—90 мм), а измерительная полость заполнена несжимающейся жидкостью и отделена от рабочего измерительного пространства мембраной, воспринимающей измеряемое давление.

Для вязких, кристаллизующихся или агрессивных веществ и сред с твердыми включениями рекомендуется применение в комплекте с манометрическими приборами мембранных разделителей (см. § 8.1).

Кислородные манометры по конструкции идентичны общепромышленным, так как изготавливаются из таких же комплектую-

щих. В ряде случаев общепромышленные приборы переводятся в разряд кислородных путем гарантированного устранения технических масел как на внутренних, так и на внешних поверхностях.

Конструкции газовых манометров должны предусматривать меры безопасности при разрыве чувствительного элемента. Кроме того, они должны испытываться и настраиваться на средах, исключаящих масла, или в последующем очищаться от излишков масел.

Если в месте эксплуатации манометрического прибора наблюдаются толчки, повышенные вибрации, экстремальные температуры, измерительная среда отличается вязкостью, способностью к кристаллизации, химической агрессивностью или в ней наблюдаются твердые вкрапления, то для квалифицированного выбора измерительного прибора рекомендуется проконсультироваться с производителем.

Одним из определяющих параметров при выборе показывающего манометрического прибора является размер его корпуса. Существующие размеры корпусов приведены ниже.

Условные обозначения показывающих манометрических приборов в различных странах имеют разные основы. Большинство немецких производителей предлагают обозначать манометрические приборы при их заказе или оформлении технической документации комбинированным набором цифр, что не всегда удобно при практическом применении и не защищает от возможных неточностей при оформлении заказа.

При анализе обозначений выпускавшихся и выпускаемых отечественных манометрических приборов очевидно отсутствие единой системы маркировки. В 50-х годах были известны обозначения показывающих общетехнических манометров, такие как ОБМ, МОШ и др. Позднее появились обозначения МТ, МТП, МП1-4. ГОСТ 2405-88 предлагает следующие обозначения: манометры — ДМ, тягомеры — ДТ, тягонапоромеры — ДГ и т.д. В нем не дано объяснений вводимых понятий. Такая классификация не может быть признана удачной. Так, первая буква Д, по-видимому, обозначает датчик и соответственно ДТ — тягомер, ДА — манометр абсолютного давления, ДН — напоромер, в то время как традиционно обозначением ДТ обозначались датчики температуры.

Для упрощения маркировки, удобства пользования автором разработана система обозначений [15] с указанием первой буквой параметра измерения: М — манометрия — манометрические приборы. Предложено не разделять манометрические приборы на манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры, тягонапо-

ромеры, микроманометры и т.п., а в обозначении прибора указывать диапазон измерения, что предопределяет вид выбираемого измерителя.

Следующей (второй) буквой обозначается функциональный символ представляемой информации: П — показывающий, Эк — электроконтактный, Эп — электропреобразовательный.

После пробела указывается размер корпуса прибора, который выбирается из ряда стандартных величин. Основными диаметрами корпусов манометрических приборов как в СНГ, так и в других странах являются следующие: 40, 50, 63, 100, 160 и 250 мм. Европейские нормы также допускают изготовление показывающих манометров в корпусах диаметрами 80 и 150 мм.

Для манометров прямоугольного исполнения корпуса приняты следующие размеры, мм: 48×48, 36×72, 72×72, 80×80, 40×80, 48×96, 96×96, 36×144, 72×144, 40×160, 80×160, 96×192, 200×100.

После размера корпуса указывается материал, из которого он изготовлен: Ст — сталь обычная (в большинстве случаев не приводится), Сн — сталь нержавеющая, пп — полипропилен, пс — полистирол, ABS — акрилонитрилбутадиенстирольные сополимеры.

Далее приводится обозначение, поясняющее расположение штуцера: Р — радиальное, Т — торцовое осевое, Тэ — торцовое эксцентрическое (смещенное).

Дополнительная информация о расположении фланца на корпусе прибора при необходимости указывается в виде: Фп — фланец передний, Фз — фланец задний.

Диапазон измерительной шкалы устройства принимается из стандартного ряда для этого типа приборов и дается в круглых скобках.

Единица измерения в обозначении приводится в обязательном порядке.

После указания диапазона и единицы измерения через разделительную черту приводится класс точности.

На следующей позиции после черты отмечаются при необходимости особенности изготовления прибора. Так, для газов, где требуются специальные материалы, исполнения или технологии, обязательно указание на шкале прибора информативных параметров, приведенных в табл. 1.13. При изготовлении механизма и всех комплектующих частей, например, из нержавеющей стали, как это предусмотрено для ряда технологий химических производств, фиксируется условное обозначение Сн. Затем может указываться

диаметр присоединительной резьбы, если он отличается от стандартного.

Взрывобезопасное исполнение прибора обозначается как Ex [14].

В качестве примера можно привести обозначение манометра показывающего (МП) с диаметром корпуса 160 мм (160), радиальным расположением штуцера (Р), диапазоном измерения давления от $-0,1$ до $+2,4$ МПа ($-0,1 \dots +2,4$), классом точности 1,5 (1,5), предназначенного для работы с кислородом:

МП 160 Р($-0,1 \dots +2,4$) МПа-1,5-О₂.

Европейскими стандартами EN 837-1 и EN 837-3 [7, 9] принята следующая система обозначения манометрических приборов:

Манометр EN 837-31 D 100 G1/2-HP-0/2,5bar-1,6-S1.

После наименования прибора указывается норма, по которой он изготавливается: EN 837. Затем через черту приводится форма изготовления корпуса (с фланцами, с хомутом и т.п.) и положение присоединительного штуцера (радиальный, осевой и т.п.) — 31.

В обозначении указывается форма измерительного элемента:

В — трубчатая пружина (Rohrfeder);

D — мембрана (Plattenfeder);

С — мембранная коробка (Kapselfeder).

Номинальный размер корпуса приводится в обозначении условным параметром, например 100.

Размер присоединительного штуцера — G1/2.

Для высокого давления указывается (при необходимости) специальная форма штуцера высокого давления — HP.

Диапазон измерений приводится с указанием единиц измерения, но без знаков (положительного или отрицательного) — 0/2,5 bar. Диапазоны положительных, положительных и отрицательных или отрицательных давлений приводятся в конечных значениях шкалы через косую черту, например 1/0,6 или 0,6/0 означает соответственно от -1 до $+0,6$ или от $-0,6$ до 0 измеряемых единиц.

Класс точности указывается через черточку — 1,6.

Стандарт обязывает при необходимости приводить степень защищенности:

S1 — приборы с аварийным сбросным клапаном;

S2 — приборы, не оснащенные дополнительной разделительной перегородкой;

S3 — приборы, оснащенные дополнительной разделительной перегородкой.

2

ПОКАЗЫВАЮЩИЕ МАНОМЕТРЫ

2.1. Общие понятия

Большинство показывающих манометрических приборов функционируют на основе деформационных чувствительных элементов. Действие таких устройств базируется на зависимости деформации или изгибающего момента упругих чувствительных элементов от давления, определяемого перемещением или усилием, развиваемым упругим элементом.

Согласно ГОСТ 8.271-77 [16] *деформационный манометр* — это манометр, принцип действия которого основан на зависимости деформации чувствительного элемента или развиваемой им силы от измеряемого давления.

Развитие манометрии на основе деформационных чувствительных элементов началось в XIX в., когда в 1846 г. немецкий ученый Р. Шницц предложил оценивать измеряемое давление по величине отклонения упругой оболочки, на которую оно воздействует. Несколько позже, в 1848 г., французский ученый Э. Бурдон использовал при оценке давления согнутую плоскоовальную трубку, получившую в дальнейшем широкое распространение и названную его именем.

Основная характеристика упругого чувствительного элемента — это зависимость перемещения λ определенной его точки от воздействующего давления p [17]:

$$\lambda = f(p). \quad (2.1)$$

В соответствии с типом прибора формируются требования к этой характеристике. Оптимальным является максимальное приближение зависимости $\lambda = f(p)$ к линейному виду. Это обеспечивает упрощение конструкции передаточного механизма и линейность шкалы измерителя.

Упругие чувствительные элементы широко применялись ранее, применяются и в настоящее время, также на их основе разрабатываются различные конструкции. Так, в емкостных, тензометрических, электромагнитных и других измерительных преобразователях давления первичными элементами, воспринимающими измеряемое давление, преобразовывающими его в линейное перемеще-

ние, которое, в свою очередь, преобразуется в электрический и иной сигнал, являются упругие мембраны.

К основным метрологическим характеристикам упругих чувствительных элементов, применяемых в манометрии, согласно международным рекомендациям OIML (Международная организация законодательной метрологии), относятся: рабочий ход элемента, нелинейность упругой характеристики, гистерезис, чувствительность, изменение начального положения, постоянство упругой характеристики. Они определяются, когда закончен полный цикл технологической обработки чувствительного элемента и он собран в сборочную единицу, готовую для установки непосредственно в прибор.

Рабочий ход [18] — это перемещение заданной точки упругого чувствительного элемента при его нагружении номинальным давлением.

Упругая характеристика — это зависимость между перемещением заданной точки упругого чувствительного элемента и возрастающим (при прямом ходе) или убывающим (при обратном ходе) давлением.

Деформационные чувствительные элементы (ЧЭ) могут подразделяться на трубчатые, мембранные и сильфонные. На рис. 2.1 приведены варианты характеристик реальных деформационных преобразователей — упругих чувствительных элементов.

Большинство мембран и сильфонов имеют затухающую характеристику 1. Отдельные чувствительные элементы обладают возрастающей характеристикой 2. Преобразователи на основе трубчатой пружины часто характеризуются возрастающе-затухающей зависимостью 3. Идеальная характеристика, называемая условной линейной, представлена на рис. 2.1 прямой 4.

Условная линейная характеристика — это характеристика, отражающая прямую пропорциональность между перемещением и давлением, начальная и конечная точки которой совпадают с соответствующими точками упругой характеристики при прямом ходе [18].

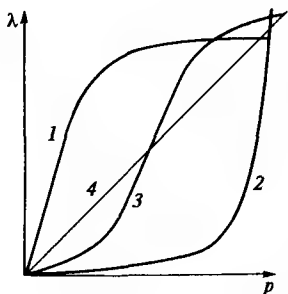


Рис. 2.1. Характеристики деформационных чувствительных элементов:

1 — затухающая; 2 — возрастающая; 3 — возрастающе-затухающая; 4 — идеальная

Практически во всех случаях характеристики реальных деформационных чувствительных элементов лишь приближаются к идеальным. Нелинейность упругой характеристики для таких элементов может характеризоваться как величиной отклонения, так и знаком (положительным или отрицательным).

Нелинейность упругой характеристики — это отклонение упругой характеристики при прямом ходе от условной линейной характеристики [17].

Деформационный чувствительный элемент характеризуется жесткостью α , определяемой отношением значения воздействующего давления p к величине перемещения характеристической точки λ этого элемента [17]:

$$\alpha = p/\lambda. \quad (2.2)$$

Чувствительность упругого элемента δ является обратной величиной жесткости

$$\delta = 1/\alpha = \lambda/p. \quad (2.3)$$

Чувствительность — это отношение приращения перемещения заданной точки упругого чувствительного элемента к соответствующему приращению давления [18].

В отдельных случаях, например в манометрических контактных реле, применяется выпуклая мембрана с нелинейной скачкообразной характеристикой (см. § 2.3). Мембрана своей выпуклой образующей располагается в сторону высокого давления. При возрастании давления и достижении определенной его величины (зависит от конструкции, материала и технологии изготовления) она скачком изменяет направленность своей выпуклости, замыкая или размыкая контрольную схему. Выбором конструктивных размеров, материалов, дополнительных устройств и пр. задают давление, при котором «срабатывает» реле, — происходит скачкообразное изменение характеристики и формы мембраны.

Одна из важнейших характеристик деформационного преобразующего элемента — переустановочное (тяговое) усилие, развиваемое упругим элементом и направленное на преодоление сопротивления передаточного механизма, пружин уравнивания и др. Переустановочное усилие зависит от эффективной площади элемента, определяемой размерами упругого элемента и характером его деформаций под воздействием нагрузки [17].

Широкое распространение деформационных чувствительных элементов не исключает существенных недостатков. Один из них — явление гистерезиса. Вариация упругой характеристики определяет

ся как разность в показаниях прибора при прямом и обратном ходе. Величина гистерезиса η может быть определена как отношение наибольшей разницы Δ между перемещениями заданной точки упругого элемента при прямом и обратном ходе и одинаковом воздействующем давлении к максимальному ее перемещению $\lambda_{\max}$, выраженное в процентах:

$$\eta = \Delta / \lambda_{\max} \cdot 100 \%. \quad (2.4)$$

Выбор материала и конструкции упругого элемента для исключения микропластических деформаций, выражающихся в ползучести, должен обеспечивать устойчивую работу манометра в задаваемых условиях температур и не иметь высоких напряжений структуры материала. Высокие температуры, значительные напряжения могут привести к нестабильности характеристики преобразующих элементов, релаксации (ослаблению) упругих свойств и соответственно снижению метрологических показателей.

Погрешность манометра с деформационным чувствительным элементом, определяемая упругими свойствами металла, зависит от коэффициента запаса π , равного отношению предела упругости σ_y к рабочему напряжению металла упругого элемента σ , т.е.

$$\pi = \sigma_y / \sigma. \quad (2.5)$$

Чем выше значение коэффициента запаса π , тем меньше влияние остаточных эффектов упругости на результат измерения.

Характеристики упругости металла, как и линейные размеры металла преобразующего элемента, зависят от температуры. Особенно ощутимо изменение характеристик, например, манометрических трубок, изготовленных из латунных сплавов, при температурах выше 100 °С.

Влияние температуры на изменение модуля упругости металла может быть определено выражением [17]

$$E_t = E_0(1 - \gamma_E t), \quad (2.6)$$

где E_0 — модуль упругости при нормальной температуре; E_t — то же при температуре t ; γ_E — температурный коэффициент модуля упругости.

В меньшей степени на результат измерения влияет температурное линейное расширение металла упругого элемента, определяемое как

$$l_t = \alpha_l l t. \quad (2.7)$$

Здесь α_t — температурный коэффициент линейного расширения металла; l — длина упругого чувствительного элемента в направлении функционального перемещения; t — рабочая температура металла упругого элемента.

Актуальны проблемы температурного расширения металла упругого элемента при его жестком закреплении в металлическом корпусе. Для этого случая обязательны тщательное согласование температурных коэффициентов линейного расширения металла преобразующего элемента и корпуса, а также выбор допусков посадочных отверстий.

Ко всем деформационным чувствительным элементам предъявляются высокие требования по прочности. Однако при использовании упругих устройств в качестве первичных преобразователей измерительных приборов, когда требования к упругим характеристикам и их стабильности во времени существенны, применяют понятие метрологической надежности.

Рабочие характеристики упругого элемента измерительного прибора во многом зависят от технологии изготовления и обработки. Выбор оптимального температурного режима отжига и последующей нормализации во многом определяет метрологическую надежность прибора. Механическое старение упругих элементов, как, впрочем, и режимы температурной обработки, — темы специального рассмотрения.

В качестве чувствительных элементов манометрических приборов наиболее часто используются (рис. 2.2):

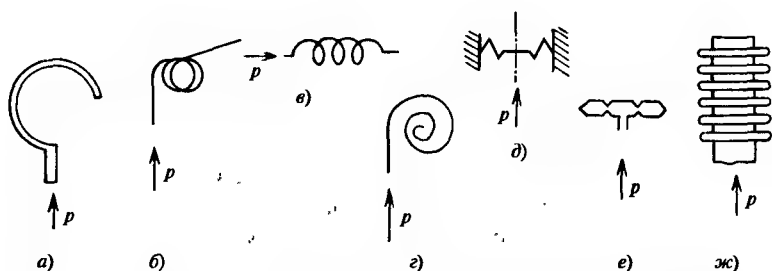


Рис. 2.2. Типы упругих чувствительных элементов манометрических приборов:

а — одновитковая пружина Бурдона; *б* — многовитковая трубчатая пружина; *в* — винтовая трубчатая пружина (геликоид); *г* — спиральная пружина; *д* — упругая мембрана как плоская, так и гофрированная, вялая с жестким центром и без него; *е* — мембранная коробка; *жс* — сильфон

- одновитковая трубчатая пружина (трубка Бурдона);
- многовитковая пружина;
- винтовая пружина;
- спиральная пружина;
- упругая мембрана как плоская, так и гофрированная или мембрана вялая с жестким центром и без него;
- мембранная коробка (коробчатая мембрана) или сильфон.

Выбор между трубчатой пружиной, сильфоном и мембраной для конструктора прибора достаточно сложен. Основными критериями выбора чувствительного элемента служат:

- величина перемещения рабочей точки деформационного преобразователя при воздействии измеряемого давления и развиваемое тяговое усилие;
- минимальная остаточная деформация и работа в диапазоне допустимых напряжений;
- минимальный расход материала.

Одновитковые трубчатые пружины Бурдона (рис. 2.2, а и 2.3, а), имеющие плоскоовальную и эллиптическую формы поперечного сечения, — наиболее распространенные чувствительные элементы показывающих манометров для малых и средних давлений.

Многовитковые, объединяющие под своим названием 1,5- и 2,5-витковые трубчатые пружины, производятся из круглых трубок (см. рис. 2.2, б и 2.3, б) с практически не контролируемым профилем изгиба. Наиболее широко применяются в показывающих манометрах высоких и сверхвысоких давлений.

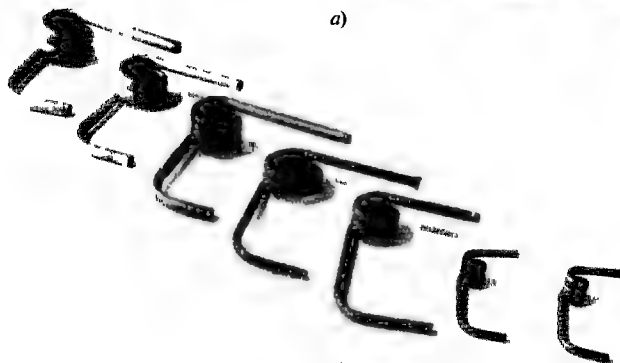
Винтовая трубчатая пружина (геликоид) (см. рис. 2.2, в), которой свойственны большие перемещения свободного конца, нашла применение в качестве чувствительного элемента в самопишущих приборах. В большинстве приборов изготавливается из плоскоовальных трубок.

Спиральная пружина (см. рис. 2.2, г и 2.3, в) выполняется из сплюсненной трубы и используется наиболее часто в качестве чувствительного элемента манометров-индикаторов с малыми диаметрами корпусов — 25—30 мм. Такие преобразователи успешно используются многими фирмами в манометрических термометрах.

Трубчатые чувствительные элементы по сравнению с сильфонами, мембранами и мембранными коробками из-за существенно различающейся эффективной площади обладают относительно малой тяговой силой. В производимых показывающих манометрических приборах эффективная площадь деформационных чувствительных элементов выбирается как достаточная для перемещения деталей и



а)



б)



в)



г)

Рис. 2.3. Вид пружинных чувствительных элементов:

а — трубчатые одновитковые пружины Бурдона, *б* — многовитковые чувствительные элементы; *в* — спиральный чувствительный элемент; *г* — упругая плоская мембрана

узлов передаточного механизма, вызываемого силами трения, преодоления инерционности массы указательной стрелки, а также для преодоления противодействия волосковой спиральной пружины.

Мембраны (см. рис. 2.2, *д* и 2.3, *з*) широко применяются в качестве чувствительных элементов приборов, измеряющих низкие значения давления. При малых и средних давлениях мембраны используют в конструкциях приборов (см. п. 2.3.1) для измерений вязких и загрязненных сред. Мерой давления в таких приборах является прогиб центра мембраны, передаваемый на указательную стрелку с помощью различных механизмов.

Мембраны могут также выполнять роль разделителя в специальных устройствах (разделителях), использующихся для измерения общепромышленными приборами давления сред с особыми физическими свойствами, например агрессивных, кристаллизующихся, высоковязких.

Измерители низкого давления, такие как напоромеры, тягомеры, тягонапоромеры, также функционируют на основе мембран (см. рис. 2.2, *з*), мембранных коробок (см. рис. 2.2, *д*) или сильфонов (см. рис. 2.2, *е*).

Сильфоны (см. рис. 2.2, *е*) представляют собой осесимметричную трубчатую гофрированную оболочку. Гофры под воздействием давления обеспечивают значительные перемещения верхней образующей. Сильфоны могут применяться в измерителях низких давлений, дифференциальных манометрах и разделителях.

При выборе измерительного средства необходимо обращать внимание на материал упругого элемента, его инертность по отношению к измеряемой среде, физические свойства анализируемой среды, геометрию чувствительного элемента прибора и конструкцию измерителя. Например, несовместимы медные сплавы с аммиачной средой. К большим погрешностям также может привести измерение быстро изменяющегося давления высоковязкой среды с помощью прибора с установленным демпферным устройством. Кристаллизующиеся жидкости могут вывести трубчатую пружину или коробчатую мембрану измерителя из строя и сделать невозможным их последующее использование.

Трубчатые пружины являются чувствительными элементами наиболее распространенных показывающих манометрических приборов. Простота конструкции, высокая надежность в работе и удобство в эксплуатации предопределили их широкое распространение. Рассмотрим подробнее эти приборы.

2.2. Манометры с трубчатой пружиной

2.2.1. Принцип действия и конструкции

Большинство показывающих манометрических приборов (манометров, мановакуумметров и вакуумметров) с трубчатой пружиной — устройства прямого действия (преобразования), в которых давление последовательно преобразуется в перемещение чувствительного элемента и связанного с ним механически показывающего устройства.

Трубчато-пружинным манометром называется деформационный манометр, в котором чувствительным элементом является трубчатая пружина [16].

Манометрические приборы с трубчатой пружиной появились в прошлом столетии. Автором изобретения считается, хотя имеются и другие претенденты, французский инженер Бурдон (см. § 2.1). Разновидностью трубки Бурдона является трубчатая пружина советского ученого А. Г. Нагаткина, выполненная из заготовки с различающейся по периметру толщиной стенки.

Трубчатая пружина в показывающих манометрических приборах малого и среднего давления имеет вид $3/4$ окружности. Для измерений давлений выше 6 МПа многие производители применяют 1,5- и 2,5-витковую пружину. В последних вариантах исполнения значительно увеличивается надежность прибора и снижается влияние гистерезиса на его класс точности.

В приборе с $3/4$ -трубчатой пружиной трубка 1 сформована (рис. 2.4) с определенными внутренним r и внешним R радиусами, зависящими от диаметра корпуса измерительного прибора и требуемого класса точности, с углом изгиба трубки $\varphi = 180\text{—}300^\circ$. Один конец такой пружины запаян, а другой соединен с держателем 2, с помощью которого внутренняя полость трубки сообщается с областью измеряемого давления p .

Под воздействием среды избыточного давления (как положительного,

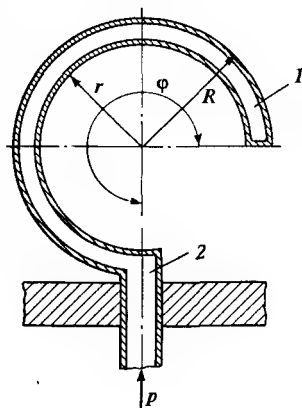


Рис. 2.4. Принципиальная схема чувствительного элемента манометра в виде одновитковой трубчатой пружины:

1 — пружина; 2 — держатель

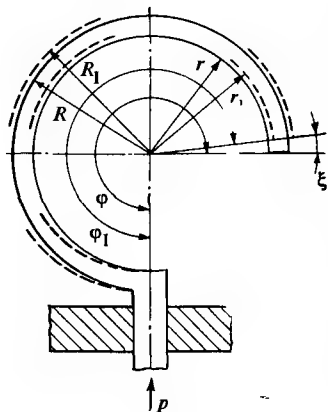


Рис. 2.5. Схема изменения геометрии чувствительного элемента пружинного манометра

так и отрицательного), подведенной к внутренней полости, трубка стремится к распрямлению (при вакуумметрическом давлении — к закручиванию). При этом соответственно изменяются внутренний и внешний радиусы пружины с r на r_1 и с R на R_1 (рис. 2.5). Следствием этого является уменьшение угла закручивания пружины от φ до φ_1 , что вызывает соответствующее изменение положения свободного

конца пружины на величину ξ . Это в свою очередь приводит к перемещению посредством передаточного механизма показывающей стрелки 5 (рис. 2.6) прибора пропорционально измеряемому давлению. Распрямление трубки происходит обычно на угол не более 15° , а перемещение ее свободного конца составляет в зависимости от размера чувствительного элемента от 2 до 10 мм. Причем для каждого типоразмера и при определенном передаточном механизме ход конца пружины для различных давлений и, конечно, при разной толщине стенок трубчатых пружин должен быть приблизительно одинаков.

В общепромышленных показывающих манометрах на основе одно- и многovitковой пружин наибольшее распространение получили передаточные механизмы с зубчатым сектором (трибко-секторные) и рычажные (рис. 2.6). Отличительной особенностью манометров с трибко-секторным передаточным механизмом является шкала с углом 270° — 300° . Такой механизм имеет более высокую стоимость, но обеспечивает повышенную точность показаний манометра. Он применяется как в промышленных, так и в эталонных приборах.

Принцип работы зубчатого механизма состоит в следующем (рис. 2.6, а). Перемещение свободного конца трубчатой пружины через тягу 2 передается зубчатому сектору 3, который посредством зубчатого зацепления приводит во вращение трибку 4 с закрепленной на ней стрелкой 5. Соответственно величина перемещения свободного конца чувствительного элемента преобразуется в перемещение стрелки.

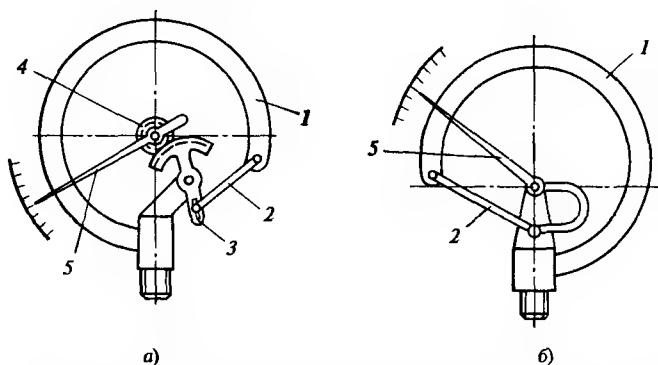


Рис. 2.6. Упрощенные схемы передаточных механизмов пружинных манометров:

а — секторный; б — рычажный; 1 — трубчатая пружина; 2 — тяга (поводок); 3 — зубчатый сектор; 4 — трибка; 5 — стрелка

Для устранения «свободного хода» передаточного механизма трибка подпружинена с помощью спиральной волосковой пружины.

Манометры с рычажным механизмом менее сложны в регулировке, обладают малой чувствительностью к вибрациям, просты в изготовлении и имеют меньшую стоимость. Шкала прибора с рычажным передаточным механизмом теоретически может составлять 90° , но на практике не превышает $60\text{--}70^\circ$. Классы точности манометрических приборов с такими механизмами — 2,5 и 4,0.

Основной целью регулировки прибора является установление близкой к линейной зависимости хода зубчатого сектора — трибки — указательной стрелки от измеряемого давления, а также соответствия начального и конечного значений шкалы задаваемому диапазону измерения давления. Это достигается путем варьирования длины тяги, соединяющей ЧЭ с сектором, и длины рычага зацепления этой тяги на зубчатом секторе. Такая регулировка достаточно трудоемка и требует специальных навыков.

Класс точности манометрического прибора в основном определяется упругими характеристиками трубчатой пружины и качеством зубчатой передачи трибно-секторного механизма. Таким образом, чем выше упругие свойства ЧЭ, качественнее выполнено зубчатое зацепление, тем более высокий класс точности измерителя может быть достигнут.

Зубчатая передача является одним из наиболее уязвимых звеньев манометра с трубчатой пружиной, особенно при пульсирующем давлении, когда его подъемы и падения имеют высокую скорость и частоту. Такие экстремальные условия эксплуатации приводят к быстрому износу — выработке зубьев как сектора, так и трибки и соответственно к недостоверности показаний измерителя, а также к выходу его из строя. Это наиболее часто наблюдается при измерении давления среды на выходе компрессоров, питательных насосов котлов и др.

К пульсирующему согласно ГОСТ 2405-88 [4], отнесено давление, многократно возрастающее и убывающее по любому периодическому закону со скоростью свыше 10 % диапазона показаний в секунду. Для измерения пульсирующего давления рекомендуется применять демпферы и демпферные устройства (см. § 8.2).

Замена зубчатого сектора в эксплуатационных условиях затруднительна для многих импортных приборов, в которых соединения передаточного механизма часто выполнены неразъемными. Отечественные производители предусматривают возможность замены трибо-секторного передаточного механизма контрольных и эталонных приборов, а в некоторых конструкциях и деталей этого механизма.

Трубчатая пружина предопределяет в значительной мере метрологические характеристики и показатели надежности измерительного прибора. Основными параметрами, оказывающими влияние на упругую характеристику, являются форма сечения и геометрические размеры пружины. Наибольшее распространение получили трубки Бурдона, имеющие эллиптическую или плоскоовальную форму сечения (рис. 2.7, *а*, *б*). Такие формы выполняются из тонкостенных заготовок. Их основные параметры — ширина $2a$, высота $2b$, толщина стенки s , радиус овала t . Последний параметр в расчетах и контроле геометрии чувствительного элемента учитывается в меньшей степени. В трубчатых манометрических пружинах распрямление происходит из-за стремления овально-изогнутой формы эллиптического или плоскоовального сечения при повышении давления приобретать округлость. Трубчатая пружина эллиптического сечения (рис. 2.7, *а*) в определенном диапазоне параметров тем чувствительнее, чем больше радиус ее овала t . Чувствительность пружины плоскоовального сечения (рис. 2.7, *б*) возрастает с уменьшением величины $2b$. Толщина стенок трубки s связана пропорционально со значением измеряемого давления.

Пружина эллиптического сечения отличается повышенной чувствительностью, так как при ее разгибании меньше противодейст-

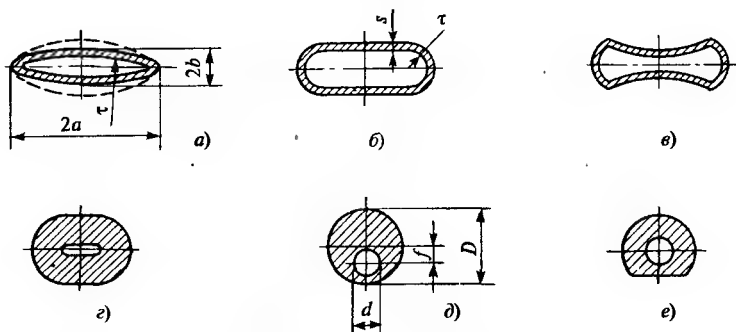


Рис. 2.7. Формы сечения одновитковой трубчатой пружины:

a — эллиптическая; *б* — плоскоовальная тонкостенная; *в* — плоскоовальная сдвоенная; *г* — плоскоовальная толстостенная; *д* — с эксцентрическим каналом; *е* — толстостенная круглая трубка с лыской

вующих профилей. Такие пружины применяются большинством производителей для измерения давлений до 0,1—0,16 МПа, а плоскоовальные — для измерения давлений 0,16—6 МПа.

Пружины с плоскоовальным сдвоенным профилем (рис. 2.7, *в*) отличаются повышенной прочностью и могут применяться для измерения высокого давления.

При изготовлении манометров для измерения более высоких давлений могут использоваться плоскоовальные толстостенные пружины (рис. 2.7, *г*), которые, как и плоскоовальные тонкостенные, под действием давления изменяют форму поперечной формы сечения и соответственно радиус изгиба трубчатой пружины.

Для измерения сверхвысокого давления (1000 МПа и выше) применяются трубчатые пружины с эксцентрическим каналом (рис. 2.7, *д*), предложенные А. Г. Нагаткиным. Ось внутреннего отверстия d в таких пружинах смещена относительно оси внешнего диаметра трубы D на величину f . Изгиб (точнее, разгиб) такой пружины происходит из-за несимметричного относительно центра распределения сил растяжения в поперечном разрезе профиля. В результате возникает изгибающий момент, который деформирует трубчатую пружину в сторону более толстой стенки. Разновидностью такого типа является трубчатая пружина в виде толстостенной круглой трубки с лыской (рис. 2.7, *е*).

Статическая характеристика пружины Бурдона включает участок пропорциональности, когда изменение положения ее конца зависит

от воздействующего давления, и последующий участок остаточной деформации, когда воздействие давления приводит к необратимым изменениям геометрии чувствительного элемента. Предельное рабочее давление трубчатого элемента должно быть в 1,5—2 раза меньше предельного значения пропорциональности для общепромышленных приборов и в 3—4 раза меньше — для эталонных.

Одной из главных задач при изготовлении трубчатой пружины является достижение идеального вида зависимости изменения хода конца пружины от воздействующего давления. Идеальный вариант — строгая линейность. На практике, к сожалению, существует ряд факторов, которые приводят к отклонению от желаемой зависимости. К таким факторам для пружин плоскоовального профиля относятся: неоптимальный выбор геометрии, неодинаковая толщина стенки по всей длине чувствительного элемента, неоднородный химический состав металла, неоптимальный термический режим обработки трубчатой пружины и другие параметры как технологического процесса изготовления непосредственно заготовки (трубки), так и чувствительного элемента.

Технология изготовления чувствительного элемента включает термический отжиг трубки, обеспечивающий ее мягкое состояние, ее профилирование и изгиб (последние операции могут быть совмещены) и обязательную последующую температурную нормализацию, предназначенную для снятия напряжений после механических деформаций.

Некоторые производители для предотвращения необратимого изменения профиля пружины при предельном давлении устанавливают по внешнему ее радиусу ограничитель предельного разгибания.

Один из основных недостатков трубчато-пружинных приборов — существование остаточных деформаций. Так, при повышении и понижении давления при одном действительном значении давления манометр будет показывать разные значения. Это объясняется, в значительной мере, наличием гистерезиса, который при работе в ограниченном диапазоне давлений по прошествии определенного времени исчезает. Снизить влияние гистерезиса на результат измерения можно несколькими способами. Наиболее распространенным является выбор металла с наиболее упругими свойствами и оптимального температурного режима обработки как заготовки, так и изогнутой трубчатой пружины.

Известен также способ устранения деформационных последствий посредством обработки чувствительного элемента цикличе-

скими нагрузками, так называемым физическим «старением» металла.

Одним из вариантов уменьшения влияния гистерезиса на результат измерения является также изготовление чувствительного элемента в виде многовитковой пружины (рис. 2.8). Наиболее часто применяется такая трубчатая пружина в манометрических приборах для давления выше 6 МПа. Конструктивно чувствительный элемент имеет 1,5 или 2,5 витка. Основными параметрами, оказывающими влияние на упругую характеристику чувствительного элемента (перемещение ξ свободного конца многовитковой трубчатой пружины), являются толщина стенки и в меньшей степени радиус навивки r .

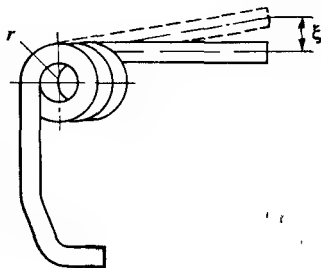


Рис. 2.8. Вид многовитковой пружины показывающего манометра

Технология изготовления многовитковых чувствительных элементов достаточно проста. Она исключает наличие наполнителя при наливке, что приводит к произвольности профиля трубчатого элемента в радиусе изгиба r .

Методика расчета подобных чувствительных элементов разработана недостаточно.

2.2.2. Промышленные манометры

Все манометры, мановакуумметры и вакуумметры, выпускаемые отечественными и зарубежными заводами-изготовителями и получившие наиболее широкое применение в условиях промышленной эксплуатации, могут классифицироваться в первую очередь, как уже отмечалось выше, по особенностям измеряемой среды или условиям эксплуатации:

- общетехнические;
- коррозионно-стойкие (кислотостойкие);
- виброустойчивые;
- специальные;
- кислородные;
- газовые.

Общетехнические промышленные приборы предназначены для работы в нормальных эксплуатационных условиях. Их конструктивное исполнение следующее:

- циферблат изготавливается из сплава алюминия; цифры наносятся черной краской на белый фон циферблата; по отдельному заказу циферблат может покрываться люминофором; для манометров малых диаметров циферблаты могут изготавливаться из полистирола;

- держатель, являющийся основанием для крепления трубчатой пружины, изготавливается из медных сплавов типа ЛС-59 с гранями под ключ 12×12, 14×14, 17×17 или 22×22 и резьбами присоединительного штуцера, приведенными в табл. 2.1;

- чувствительный элемент и держатель, изготавливаемые из медных сплавов, соединяют между собой пайкой;

- чувствительный элемент имеет вид трубчатой одновитковой пружины при давлении менее или равном 6 МПа и многовитковой — при давлении более 6 МПа.

Показывающие манометрические приборы, как видно из рис. 2.9, могут изготавливаться с радиальным, торцовым осевым и торцовым смещенным (эксцентрическим) расположением штуцера. В приборах с торцовым смещением штуцера держатель размещается на расстоянии f от оси манометра.

Для изготовления трубок отечественными производителями используются следующие сплавы: ЛАНКМЦ, бронза БрОФ4-0,25, латунь Л63. Зарубежные изготовители применяют медно-оловянные сплавы типа CuSn (4, 6, 8), медно-цинковые CuZn15, CuZn37, никеле-медно-железные NiCuFe30 (Monel), хромо-молибденовые CrMo52, бериллиевую бронзу CuBe2, коррозионно-стойкие стали AISI 316Ti (Nirosta 1,4571).

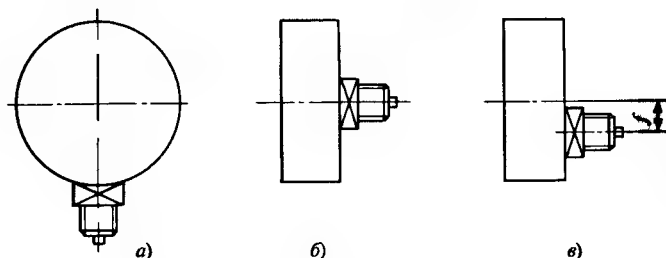


Рис. 2.9. Исполнения показывающих манометров с различным расположением штуцера:

a — радиальное, *б* — торцовое осевое, *в* — торцовое смещенное

Размеры присоединительных штуцеров показывающих манометров должны соответствовать ГОСТ 2405-88 [4]. На рис. 2.10 приведены различные варианты изготовления присоединительного штуцера. Резьбы метрические — от $M10 \times 1$ до $M20 \times 1,5$ (табл. 2.1).

Отечественными приборостроителями основная часть показывающих манометров производится с наиболее упрощенным вариантом штуцера — сосковым (рис. 2.10, а). Для высоких и сверхвысоких давлений (табл. 2.1) в большей степени применимы штуцеры с коническим уплотнением (рис. 2.1, в—е).

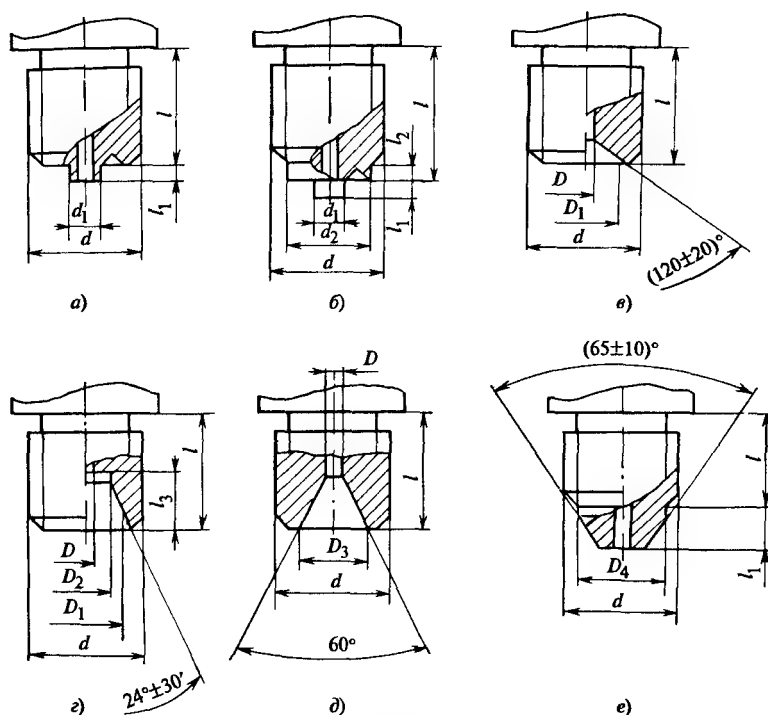


Рис. 2.10. Варианты изготовления присоединительного штуцера:

а — сосковый, б — сосковый с дополнительной площадкой, в — широкоугольный, г — остроугольный с площадкой, д — остроугольный, е — конусный

Таблица 2 1

**Присоединительные размеры штуцеров манометрических приборов для подвода измеряемого давления
согласно ГОСТ 2405-88 [4]**

<i>d</i>	<i>d</i> ₁ , не более	<i>d</i> ₂	<i>D</i>	<i>D</i> ₁	<i>D</i> ₂	<i>D</i> ₃	<i>D</i> ₄	<i>l</i>	<i>l</i> ₁	<i>l</i> ₂	<i>l</i> ₃	Изготовле- ние штуцера по рис 2 10	Верхний пре- дел измере- ний, МПа
					не более			не более					
M10×1-6g	3							10	2			<i>a</i>	
M12×1,5-8g	5							12	3				40*
M16×1,5-8g	6							16	4				160
M20×1,5-8g								20	5				
M10×1-6g	3	8,7						10	2	1		<i>б</i>	40*
M12×1,5-8g	5	9,5						12	3	2,5			
M16×1,5-8g	6	13,5						16	4	3			160
M20×1,5-8g		17,5						20	5	3,5			
M20×1,5-8g			4	10								<i>в</i>	
M10×1-6g			3	6,5	5			10			5,5	<i>г</i>	40*
M12×1,5-8g			4	8,1	6						7		160
M16×1,5-8g			5	10,1	8			12					
M20×1,5-8g			6	14,3	12						7,5		
M16×1,5-8g								16	4			<i>д</i>	250*
M20×1,5-8g			5			7		20	5				
M10×1-6g							8,5	9,5	4,5			<i>e</i>	100
M12×1,5-8g							10,5	9,5	5,5				250
M16×1,5-8g							14,5	10	6,0				
M20×1,5-8g							17,8	13,5	6,5				

*Допускается применять больший предел измерений, если это не противоречит технике безопасности

Таблица 2 2

Резьбы присоединительного штуцера согласно европейским нормам
EN 837-1 и EN 837-3

Цилиндрическая резьба	Коническая резьба
G1/8 В	1/8-27 NPT EXT
G1/4 В	1/4-18 NPT EXT
G1/2 В	1/2-14 NPT EXT

Европейские нормы EN 837-1 и EN 837-3 [7, 9], по сравнению с немецким стандартом DIN 16 288, действовавшим до принятия этих норм, кроме цилиндрических допускают изготавливать штуцеры с коническими резьбами (табл. 2.2). Класс допуска на изготовление трубных резьб в этих нормах также снижен от категории А до категории В

Трубная резьба G3/8 может допускаться к применению в исключительных случаях. Цилиндрические резьбы, приведенные в табл. 2.2, изготавливаются по стандарту ISO 228-1, а конические — по ANSI/ASME B1.20.1. Метрические резьбы в европейских нормах не предусмотрены и отнесены к другим видам, допустимым в особых случаях. Варианты изготовления присоединительного шту-

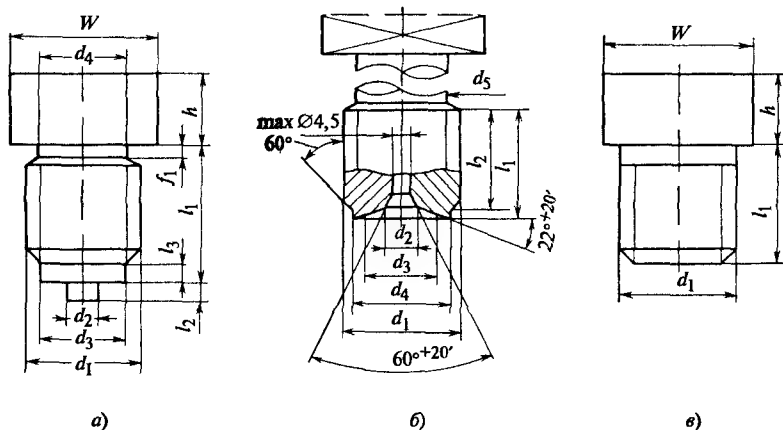


Рис. 2.11. Варианты изготовления присоединительного штуцера по EN 837-1 и EN 837-3:

а — сосновый с дополнительной площадкой, б — специальный, в — конический

Таблица 2 3

Размеры для штуцеров сосковых с дополнительной площадкой с трубной резьбой по EN 837-1 и EN 837-3

Присоединительная резьба, d_1	d_2	d_3	$d_{4\text{min}}$	$l_{10}^{+0,5}$	l_2	$l_{30}^{+0,5}$	f	W_{mm}
G1/8 B	4	8	8	10	2	2	1.6	8
G1/4 B	5	9,5	9,5	13	2	2	2	10
G3/8 B	5,5	13	13	16	3	3	2	13
G1/2 B	6	17,5	17,5	20	3	3	3	17

цера показывающих манометров (рис. 2.11), регламентированны европейскими нормами EN 837-1 и EN 837-3 [7, 9].

Сосковый с дополнительной площадкой вариант изготовления штуцера (рис. 2.11, а) наиболее широко используется зарубежными изготовителями. Размеры, в зависимости от присоединительной резьбы, приведены в табл. 2.3. Высота h устанавливается в конструкторской документации на каждый тип прибора и определяется размерами инструмента, применяемого при монтаже манометров.

При изготовлении держателя из нержавеющей стали допускается увеличение резьбового сгона f_1 на 50 %.

Для высоких давлений европейские нормы рекомендуют применять специальные штуцеры, показанные на рис. 2.11, б. Размеры для такого соединения приведены в табл. 2.4.

Особое внимание заслуживают штуцеры с конической резьбой (рис. 2.11, в). Размеры соединений приведены в табл. 2.5. Уплотнение в таких соединениях может обеспечиваться по резьбе без дополнительных прокладок. Стандарт EN 837-2 [8] рекомендует для обеспечения герметичности дополнительно использовать специальную ленту или герметик.

1

Таблица 2 4

Размеры, мм, для специальных штуцеров на высокое давление по EN 837-1 [7]

Присоединительная резьба, d_1	$d_2 \pm 0,1$	d_3	d_4	$d_{5-0,3}^0$	$l_{10}^{+0,3}$	$l_{20}^{+0,3}$
G 1/2 B	7,14	15	17,5	19	25	22

Таблица 2.5

Размеры, мм, для штуцеров с конической резьбой EN 837-1 [7]

Присоединительная резьба, d_1	l_1	W_{mm}
1/8-27 NPT EXT	10	8
1/4-18 NPT EXT	13	10
1/2-14 NPT EXT	18	17

Возможны другие варианты изготовления присоединительных штуцеров показывающих манометрических приборов. Например, в горнодобывающей промышленности используются манометры с системой монтажа в виде специального безрезьбового штека.

Европейский стандарт EN 837-2 рекомендует другие варианты присоединений штуцеров, используемых в определенных сферах промышленности, оговаривать с производителем отдельно.

На участке штуцера после окончания резьбовой части для исключения монтажа прибора путем его вворачивания за корпус отечественными производителями предусматриваются две лыски или в большинстве случаев четыре грани под ключ 12, 14, 17 или 22.

Основные диаметры корпусов показывающих манометров, выпускаемых как в СНГ, так и в зарубежных странах, следующие: 40, 50, 63(60), 100, 160 и 250 мм. Манометры диаметром корпуса 60 мм могут выпускаться только теми предприятиями, которые производили эти приборы с такими размерами корпусов до ввода в действие ГОСТ 2405-88. В настоящее время отечественный стандарт [4] и европейские нормы [7, 9] рекомендуют выпуск манометров с диаметром корпуса 63 мм. Европейские нормы EN и польские нормы PN также допускают изготовление, наряду с отмеченными выше, показывающих манометров в корпусах диаметрами 80 и 150 мм.

Встречаются показывающие манометры в корпусах квадратной формы. Они отличаются только формой и размерами крепежного фланца.

Размеры чувствительных элементов, передаточных механизмов стандарты не регламентируют. Остальные размеры должны приводиться в технических условиях на прибор конкретного типа.

Корпуса общепромышленных манометров могут изготавливаться как из металла (обычной стали), медных и алюминиевых сплавов, так и из пластмасс — ABS-состава, полистирола.

Общепромышленные манометры обозначаются как МП (манометры показывающие).

Коррозионно-стойкие (кислотостойкие) манометры отличаются материалом, из которого они изготовлены. Держатели на отечественных предприятиях производятся из стали 12Х18Н10Т, чувствительные элементы — из стали 36НХТЮ. Импортные приборы, называемые «химически стойкими», в большинстве изготавливаются из сталей X10CrNiMoTi (Nirosta — AISI 316 Ti), хотя для отдельных приборов может применяться сплав Monel. Чувствительный элемент и держатель в устройствах этого типа соединяются аргонно-дуговой сваркой.

Для работы в агрессивных средах из нержавеющей стали могут изготавливаться также корпус, передаточный механизм, циферблат.

Присоединительные размеры, так же как и размеры под ключ у штуцера коррозионно-стойких манометров, аналогичны размерам общетехнических манометров.

В большинстве случаев коррозионно-стойкие манометры комплектуются «безопасным» стеклом (safety glass), представляющим собой клееное многослойное стекло с прочной прозрачной прокладкой.

Основные диаметры корпусов показывающих коррозионно-стойких манометров, выпускаемых как в СНГ, так и зарубежом, следующие: 40, 50, 63, 100 и 160 мм.

При измерении давления агрессивных сред могут также использоваться общепромышленные манометры, устанавливаемые в комплекте с мембранными разделителями.

Обозначения коррозионно-стойких манометров включают, в отличие от общепромышленных, материал, из которого изготавливается часть прибора, узел или манометр в целом. Например, манометр с корпусом и передаточным механизмом, выполненными из коррозионно-стойкой стали, диаметром 100 мм, диапазоном измерения от 0 до 10 МПа, классом точности 1,5 обозначается:

МП 100 (0...10) МПа-1,5-Ст.

Специальные манометры включают приборы, измеряющие давление среды со свойствами, отличными от нормальных или активных по отношению к медным сплавам, исключая коррозионно-стойкие, описанные выше.

Аммиачные манометры относятся к группе специальных и имеют держатель из обычной стали. Чувствительный элемент может изготавливаться из упругого как нержавеющей, так и углеродистого металла. Это обусловлено тем, что аммиак, как и сернистый газ, разрушает цветные металлы.

Внешняя отличительная особенность таких манометров, кроме условного обозначения вида вещества на циферблате, может заключаться в наличии наряду с манометрической и температурной шкалы.

Температурная шкала может быть и в других манометрических приборах, таких, например, как фреоновые. Эти манометрические приборы используются только для измерения давления газов и жидких сред в состоянии насыщения, когда давление и температура вещества взаимосвязаны. Такое состояние веществ характерно для хладагентов при их работе в системах холодильных установок. Зависимость между давлением и температурой в состоянии насыщения для каждого вида вещества индивидуальна.

Наличие температурной шкалы для аммиачных и фреоновых манометров не является обязательным. ГОСТ 2405-88 [4] отмечает, что «приборы, предназначенные для измерения хладонов и аммиака, могут иметь температурную шкалу».

Цвет температурной шкалы и чисел отсчета температуры должен быть:

- черный или красный — для плюсовой температуры;
- черный или синий — для минусовой температуры.

Эти приборы не следует отождествлять с термоманометрами, у которых на одном циферблате нанесены две автономные шкалы отсчета давления и температуры, а также установлены две стрелки. В термоманометрах имеются автономные каналы измерения давления и температуры.

Основной диаметр корпуса показывающих аммиачных манометров как в СНГ, так и в других странах — 100 мм. Однако это не принципиальный вопрос и нет конструктивных проблем для производства аммиачных манометров других размеров.

Аммиачные манометры обозначаются так же, как и обычные, но с указанием рабочей среды. Например, манометр диаметром корпуса 100 мм диапазоном измерений от 0 до 2,5 МПа классом точности 2,5 обозначается как

МП 100(0...2,5) МПа-2,5-NH₃.

ГОСТ регламентирует выпуск манометров с одновременной индикацией давления и температуры для хладонов R12, R13, R13B1, R22, R502, R142. Подводящий штуцер и чувствительный элемент, как и в общетехнических, может выполняться из медных сплавов. Других отличий, кроме температурной шкалы, у фреоновых манометров нет. Однако из-за особенностей температурной эксплуатации таких приборов — перепада температур измеряемой

среды и окружающего воздуха наблюдается быстро прогрессирующая коррозия корпусов, изготавливаемых из технических сталей. Поэтому для таких измерений в большей степени применимы приборы с корпусами, изготовленными из нержавеющей металлов.

К специальным манометрам можно также отнести приборы, измеряющие давление вязких сред и веществ, содержащих твердые частицы. В этих конструкциях присоединительный штуцер изготавливается значительно большего проходного размера (30—90 мм), а измерительная полость заполнена несжимаемой жидкостью и отделена от рабочего измерительного пространства диафрагмой, воспринимающей измеряемое давление.

Аналогичный принцип положен в работу манометрических устройств, предназначенных для пищевой промышленности. Трансформирующая давление вставка, одна часть которой устанавливается заподлицо с трубопроводом, а другая соединяется с показывающим манометром, заполнена несжимаемой жидкостью (см. § 8.1).

Виброустойчивые манометры предназначены для работы в условиях пульсирующего давления измеряемой среды высокой частоты, больших амплитуд и внешних вибраций, как это может наблюдаться на многих технологических установках. Для условий эксплуатации, где вибрация превышает частоту 55 Гц и амплитуду смещения 0,15 мм, необходимо применять (см. табл. 1.3) виброустойчивые приборы. В таких условиях, как отмечалось в п. 2.2.1, в обычных манометрах происходит быстрое «вырабатывание» зубчатого сектора и трибки передаточного механизма, что приводит к повышению погрешности измерения, а во многих случаях выходу прибора из строя.

Конструктивно виброустойчивые манометры имеют герметичный корпус, внутренний объем которого заполнен жидкостью с повышенной вязкостью. Наиболее часто для этих целей используется глицерин, который, однако, при температуре ниже -17°C кристаллизуется. Для таких температурных условий может использоваться силикон, фазовые преобразования которого, в зависимости от добавок, наблюдаются при температуре ниже $-30\ldots-50^{\circ}\text{C}$. Однако при комнатной температуре силикон имеет повышенную текучесть, что обуславливает необходимость более тщательного уплотнения соединений корпуса. Основным требованием к рабочей жидкости является, как отмечалось выше, повышенная вязкость, а также неагрессивность по отношению к деталям прибора и

не изменяющая своего фазового состояния (кристаллизации или парообразования) при температурах эксплуатации прибора.

При пульсации измеряемого давления трубчатый чувствительный элемент, окруженный с внешней стороны вязкой жидкостью, например глицерином, обладает инерционностью перемещения, т.е. изменение положения его свободного конца происходит с определенным запаздыванием, что приводит к сглаживанию частотных нагрузок. Кроме того, находящаяся внутри корпуса вязкая жидкость обеспечивает дополнительную смазку осей трения зубчатого зацепления передаточного механизма. Это также уменьшает износ зубчатой пары.

По наблюдению автора, на качественно изготовленном механизме с высокой чистотой поверхности и оптимальной геометрией зуба манометра, функционирующего в вязкой среде, при работе прибора на пульсирующих нагрузках энергетических установок даже после нескольких лет эксплуатации отсутствовали следы выработки пары трибка — сектор.

Представляет интерес опыт применения манометров с корпусом, заполненным вязкой жидкостью, для измерения давления различных сред в системах, подвергающихся постоянным или периодическим затоплениям, когда прибор подвержен активным внешним влияниям. Защищенный корпус устройства предохраняет измерительную часть, передаточный механизм от внешних воздействий. В этих случаях рекомендуется перед манометром устанавливать кнопочный включатель (см. § 8.4), обеспечивающий включение прибора только в период проведения измерений.

Воздействие пульсирующего давления и внешней вибрации на чувствительный элемент манометра может быть также снижено демпферами и демпфирующими устройствами, устанавливаемыми на линии подвода измеряемой среды (см. § 8.2).

Виброустойчивые манометры изготавливаются в герметичном корпусе. Специальные уплотнения между корпусом и держателем выполняются из каучуковых резин. В варианте с нержавеющей держателем и корпусом многие производители соединяют их сваркой. Обечайка корпуса герметично закрывает его и может устанавливаться как с помощью закрутки-завальцовки, так и с использованием резьбового уплотнения (рис. 2.12).

Завальцовка применяется в манометрах малых диаметров, а также в приборах больших диаметров, но более дешевых.

Корпуса виброустойчивых манометров большинством производителей изготавливаются из коррозионно-стойкой стали. Для этих

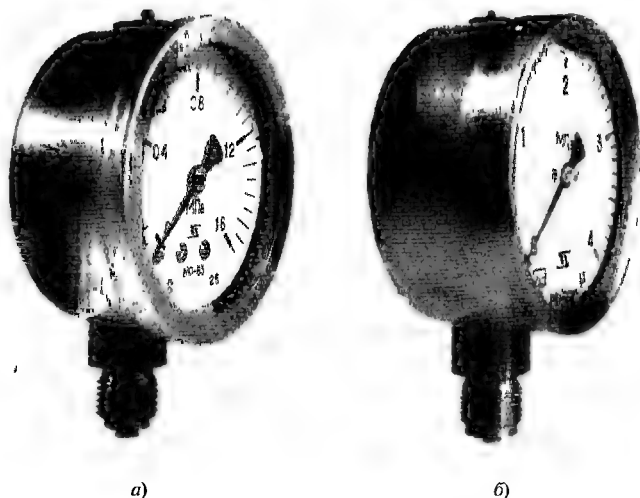


Рис. 2.12. Разновидности корпусов виброустойчивых манометров:

а – с использованием завальцовки, *б* – на основе резьбового уплотнения

целей может также использоваться техническая сталь. Основным требованием для этой конструкции служит герметичность. Остальные узлы, такие как держатель, чувствительный элемент, передаточный механизм, могут выполняться как из медных сплавов, так и из коррозионно-стойкой стали.

В большинстве виброустойчивых манометров в целях обеспечения безопасности эксплуатации при разрыве задней стенки чувствительного элемента предусматривается резиновый клапан в виде пробки.

Заполнение манометра вязкой жидкостью не требует применения специальных технологий. В верхней части корпуса размещено отверстие для заливки вязкой жидкости, которое может закрываться резиновой пробкой или специальным запорным устройством с резьбовым стопором.

Для обеспечения виброустойчивыми манометрами заявленной точности, особенно это актуально для малых рабочих пределов, рекомендуется после монтажа прибора открывать малую верхнюю пробку или срезать специально предназначенную для этого ее

верхнюю часть в целях выравнивания атмосферного давления и давления внутри корпуса.

Не рекомендуется использовать глицерин для наполнения манометров, измеряющих давление кислорода или других активных окислителей. Для таких условий используются сильно хлорированные жидкости.

Форма и присоединительные размеры штуцера такие же, как в общепромышленных приборах.

Основные диаметры корпусов выпускаемых показывающих виброустойчивых манометров: 40, 50, 63, 100 и 160 мм.

Газовые манометрические приборы, согласно немецкому стандарту DIN 16006, должны содержать специальные конструктивные решения, обеспечивающие безопасность персонала при разрыве чувствительного элемента. Такие манометры должны иметь дополнительную разделительную перегородку между чувствительным элементом и шкалой. Смотровое окно выполняется как пробиваемое, многослойное с упрочнением, так и непробиваемое. На задней стенке устройства расположен разгрузочный клапан, раскрываемый минимум на 90 % поверхности стенки при превышении давления на 0,2 МПа от предельного для корпуса диаметром 63 мм и 0,15 МПа — для корпусов диаметрами 100 и 160 мм. Чувствительные элементы должны выдерживать давления до 2,5-кратного конечного значения шкалы и не разрушаться.

Европейские стандарты предусматривают монтаж аварийного предохранительного клапана практически на всех линиях подключения манометров, работающих при высоких давлениях.

Газовые манометры различаются цветом корпусов приборов, а в некоторых случаях и центральной окружности шкалы. В табл. 2.6

Таблица 2 6

Рекомендуемые цвета окраски корпусов газовых манометров

Газ	Цвет корпуса манометра
Аммиак	Желтый
Ацетилен	Белый
Водород	Темно-зеленый
Кислород	Голубой
Хлор и фосген	Серовато-зеленый
Пропан и другие горючие газы	Красный
Другие негорючие газы	Черный

приведены цвета, в которые рекомендуется окрашивать корпуса газовых приборов.

Многие газы обладают специфическими свойствами. Так, водород разрушает сталь, что необходимо учитывать при производстве и эксплуатации манометров.

Особое внимание надо уделять ацетиленовым манометрам, так как ацетилен при соприкосновении с медными сплавами, содержащими более 70 % меди, образует ацетиленистую медь — взрывчатое вещество.

Для повышения индикативности измеряемого параметра и более легкого визуального восприятия применяются манометры с красной отметкой порогового значения давления. Такая отметка наносится такой же ширины, как и числовые отметки шкалы. Длина красной отметки не должна превышать двойную длину числовой отметки. Допускается нанесение двух отметок разного цвета, ограничивающих пределы контролируемого давления.

Разновидностью красной отметки являются цветные стрелки (наиболее часто устанавливается одна красного цвета). Такие стрелки устойчиво закрепляются на циферблате или стекле прибора. Они обеспечивают сохранение своего положения при вибрациях измерителя. Переустановка цветной стрелки производится после снятия стекла манометра.

В ряде конструкций манометров нашла применение контрольная стрелка, предназначенная для фиксирования максимальных или минимальных значений давления измеряемой среды. Она крепится как на стекле, так и на циферблате прибора и содержит стопорный механизм, предотвращающий ее произвольное перемещение. Действие такого механизма ограничивается возможностью основной измерительной стрелки перемещать контрольную. Таким образом, основная измерительная стрелка при повышении давления с помощью зацепного штифта перемещает контрольную стрелку до максимального ее отклонения. При последующем снижении давления основная стрелка возвращается, оставляя контрольную на максимально достигнутом давлении. Установка контрольной стрелки из-за возникающих трений в оси вращения может вносить в зависимости от совершенства конструкции узла крепления погрешность измерений 5 % и более.

Представляет интерес применение в промышленных условиях индикаторов давления. Их отличительная особенность состоит в отсутствии на шкале прибора цифровых значений. Такое устройство не требует метрологической аттестации и может подвергаться

проверке работоспособности в условиях промышленных лабораторий.

Согласно [6] индикатор — это техническое средство или вещество, предназначенное для установления наличия какой-либо величины или превышения уровня ее порогового значения.

В качестве индикаторов могут использоваться общетехнические приборы с обязательным нанесением обозначения «И» непосредственно на прибор или на техническую документацию.

На рис. 2.13 показан индикатор давления, предназначенный для определенного технологического процесса с установившимися параметрами контроля без цифровых обозначений на шкале прибора. Недопустимые для работы зоны давления отмечаются красным цветом. Разрешенный диапазон рабочих давлений обозначается зеленым цветом.

Такая конструкция, как показывает опыт эксплуатации, позволяет снизить психологическую нагрузку на оператора технологического процесса, повысить воспринимаемость и контролируемость информации.

Согласно ГОСТ 8.513-84 средства измерений, применяемые для наблюдения за изменением величин без оценки их значений в единицах физических величин с нормированной точностью, поверке не подлежат.

Кислородные манометры применяются достаточно широко и требуют тщательного соблюдения специальных технологий, основанных на исключении контакта внутренних поверхностей измерительного средства, как, впрочем, и наружных, с масляными средами.

2.2.3. Кислородные манометры

Кислородные манометры — приборы, измеряющие давление кислорода. Согласно ГОСТ 12.2.052-81 [19], кислородными являются среды с долей кислорода 23 % и более.

Соприкосновение кислорода с минеральными маслами и некоторыми органическими веществами вызывает взрыв, возникающий даже при его малых долях. Мощность такого взрыва, как и его возникновение, не определяется количеством масла.

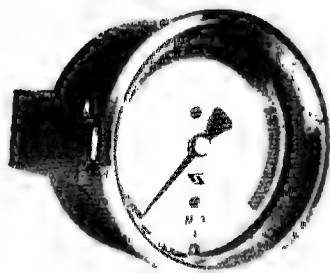


Рис. 2.13. Индикатор давления

Таблица 2 7

**Предельно допустимые концентрации жировых загрязнений
на поверхностях, контактирующих с кислородсодержащими средами,
при различных значениях давления согласно ГОСТ 12.2.052-81 [19]**

Температура, К (°С)	Содержание жировых загрязнений, мг/м ² , не более, при давлении кислорода, МПа			
	до 0,6	свыше 0,6 до 1,6	свыше 1.6 до 6,4	свыше 6,4
До 333 (60) включ.	500	200	100	50
Св. 333 (60) до 423 (150) включ.	250	100	50	25

Кислородные манометры конструктивно практически не отличаются от общепромышленных. Требования к диапазонам измерений, классам точности, размерам корпусов и т.п. одинаковые (см. гл. 1). К кислородным манометрам предъявляются (идентичные газовым) повышенные требования надежности. Принципиальная отличительная особенность кислородных манометров — это строгий контроль предельно допустимых концентраций масла на поверхностях манометра, которые контактируют с кислородсодержащими средами. Такие концентрации не должны превышать значений предельно допустимых (табл. 2.7). Недопустимо также наличие масла, которое может определяться визуально, на внешних частях кислородных манометров.

Кислородные манометры обязательно должны иметь на шкале прибора полные или условные обозначения: кислород, маслоопасно (см. табл. 1.13). Кроме этого, для внешнего отличия кислородных манометров от общепромышленных европейские стандарты рекомендуют окрашивать корпус и (или) часть шкалы в голубой цвет. ГОСТ 2405-88 [4] такие требования не регламентирует. Однако ГОСТ 12.2.052-81 [19] рекомендует обязательно окрашивать кислородное оборудование в голубой цвет или нанести на него полосы этого цвета.

При выборе материала уплотнительной прокладки между штуцером прибора и посадочным гнездом (см. рис. 2.10) рекомендуется руководствоваться данными табл. 2.8.

Парониты допускается применять при температуре до 200 °С. До 400 °С выдерживают уплотнительные прокладки из асбеста.

Таблица 2 8

Материалы, рекомендуемые для изготовления прокладок, используемых при монтаже кислородных манометров согласно ГОСТ 12.2.052-81 [19]

Материал	Толщина прокладки, мм, не более			
	0,5	1.0	2.0	4,0
	Рабочее давление, МПа, не более			
Листовая фибра (ГОСТ 14613-83)	15,0	7,0	3,5	1,6
Резина В-14, В-14-1, Н-1, Н-10, Р-24	12,0	8,0	5,0	4,0
Резина ТМКЦ (ГОСТ 7338-77)	12,0	8,0	5,0	4,0
Резина ИРП-1136	28,0	18,0	10,0	8,0
Резина № 52-775	42,0	30,0	18,0	12,0
Паронит ПОН (ГОСТ 481-80)	22,0	16,5	12,0	10,0
Фторопласт-3 (ГОСТ 13744-87)	15,0	10,0	7,5	6,4
Фторопласт-4 (ГОСТ 10007-80)	42,0	42,0	15,0	10,0
Паронит КП-2	Без ограничений			
Асбестовый картон (ГОСТ 2850-80)	Без ограничений			
Фторопластовый уплотнительный материал ФУМ	25,0			

Кислородный манометр обеспечивается техническим паспортом с отметкой организации-производителя, поверителя и датами изготовления и поверки.

Контрольно-измерительные приборы кислородного оборудования на территории Российской Федерации должны проходить государственную и ведомственную поверку в соответствии с требованиями ПР 50.2.002-94 [20] и ПР 50.2.006-99 [21].

Межповерочный интервал кислородных манометров такой же, как и обычных технических средств измерения. Однако их поверка из-за недопустимости наличия масла или его остатков на внутренних поверхностях измерителя требует соблюдения ряда технологий и повышенного внимания. Кроме того, поверка кислородных манометров как функция особой важности — прерогатива государственных метрологических органов.

Исключение контакта масла с рабочими поверхностями кислородных манометров может быть достигнуто несколькими путями. Например, масляная среда в поверочной установке после соответст-

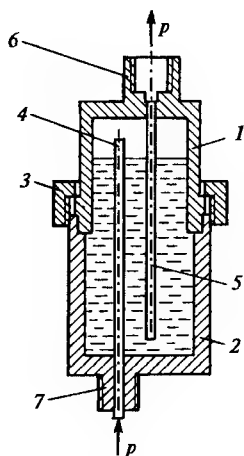


Рис. 2.14. Принципиальная схема разделительной камеры П. В. Индрика:

1 — верхний колпак, 2 — нижний колпак, 3 — прижимная гайка, 4 — входной канал, 5 — выходной канал, 6 — посадочное гнездо манометра, 7 — штуцер подводящего давления

вующих технических мероприятий заменяется на допустимую для этих целей жидкость. В качестве рабочей жидкости могут использоваться: дистиллированная вода (ГОСТ 6709-72), жидкости ПЭФ 70/60, ПЭФ130/100, ПЭФ 240 (ТУ 6-01-652-71), глицерин (ГОСТ 6824-76), смесь глицерина с дистиллированной водой, а также другие жидкости, не вступающие в реакцию с измеряемой средой.

Другой метод, исключаящий контакт масляной среды поверочной установки с кислородным манометром, предусматривает использование разделительной камеры с масляной и немасляной средами. Масляная среда посредством немасляной передает давление на кислородный манометр. На рис. 2.14 приведена принципиальная схема разделительной камеры П. В. Индрика, состоящей из верхнего 1 и нижнего 2 колпаков, прижимной гайки 3, обеспечивающей путем плотного соединения герметизацию сосуда, входного 4 и выходного 5 каналов. Поверяемый манометр устанавливается в посадочное гнездо 6, а разделительная камера подсоединяется с помощью штуцера 7 к установке, генерирующей давление. Разделительная камера заполняется водой.

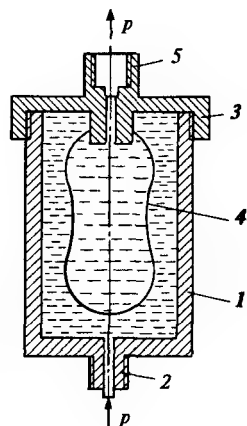
При повышении давления в поверочной установке создается давление в разделительной камере, и вода поступает в поверяемый манометр. Наличие входного и выходного каналов с трубками, высота которых близка к высоте рабочего пространства разделительной камеры, обеспечивает устойчивое разделение масляной и немасляной сред. Такой метод проверки кислородных манометрических приборов нашел широкое применение, однако требует соблюдения специальной технологии контроля состояния немасляной среды.

Известны другие конструкции разделительных камер (рис. 2.15). В корпусе 1 имеется штуцер подводящего давления 2. Герметичность корпуса обеспечивается крышкой 3. Внутренняя полость корпуса заполнена маслом от масляного пресса. Внутри

Рис. 2.15. Схема разделительной камеры с разделительной оболочкой:

1 — корпус, 2 — подводящий штуцер, 3 — крышка, 4 — разделительная резиновая оболочка, 5 — выходной штуцер

корпуса на соединительном штуцере закреплена резиновая оболочка 4, наполненная водой. Масляная среда с определенным давлением p через проводящий штуцер 2 поступает в камеру и воздействует на разделительную резиновую оболочку 4, заполненную немасляной жидкостью. В результате в кислородный манометр, установленный в выходном штуцере 5, поступает немасляная среда с давлением p . Погрешностью передачи давления, вносимой резиновой оболочкой, можно пренебречь.



В процессе проверки манометров обязателен тест-контроль внутренних поверхностей чувствительного элемента и подводящего штуцера на наличие масла. Такой тест-контроль может заключаться в промывке внутренних поверхностей прибора растворителем и последующем контроле концентрации масла в нем.

В качестве растворителей могут использоваться хладоны 113 и 114В2, трихлорэтилен, тетрахлорэтилен, обеспечивающие остаточное содержание жировых загрязнений не более 20 мг/м^2 . Наиболее часто применяется в этих целях хладон 113, который особенно опасен токсичностью при высоких температурах. В промышленных условиях для обезжиривания используется бензин-растворитель БР-1 «Галоша».

Содержание масла на открытой поверхности проверяют, согласно ГОСТ 12.2.052-81 [19], непосредственно путем осмотра контролируемой поверхности ультрафиолетовыми осветителями с пороговой чувствительностью 100 мг/м^2 или протирая участки поверхности салфеткой из стеклянного волокна марки Э толщиной $0,06\text{--}0,08 \text{ мм}$, размером $20 \times 20 \text{ см}$. Наличие следов масла на салфетке определяют несколькими способами:

- качественным — облучением в люминесцентном приборе, для чего расправленную использованную салфетку подносят к щели прибора; отсутствие светящегося пятна на салфетке свидетельствует о достаточной чистоте поверхности;

• количественным — использованную салфетку промывают в фарфоровой чашке или стакане, заполненном 100 см^3 растворителя, в течение 3—5 мин.; 10 см^3 растворителя вливают в кювету люминесцентного прибора и определяют содержание масла в нем.

Контроль за отсутствием масла на внутренних поверхностях манометра осуществляют следующим образом: шприцем во входное отверстие штуцера впрыскивают горячую воду, взбалтывают ее внутри прибора, а затем выливают в сосуд с чистой водой или вытряхивают на белый лист бумаги. Появление на поверхности воды радужной пленки или жировых разводов на бумаге свидетельствует о наличии масляной фракции. Выливать промывочную жидкость необходимо только в воду, так как в других средах масло как фракция с большей удельной массой может опуститься на дно и не будет заметно при визуальной оценке.

Наличие масла после промывки загрязненных поверхностей растворителем определяют так: выливают отработанную жидкость на впитывающую бумагу. Затем путем флуоресценции поверхности этой бумаги в ультрафиолетовом свете определяют наличие масла. Масляные вкрапления и водяное смачивание имеют различные интенсивности люминесценции.

Для контроля флуоресценции в ультрафиолетовом свете рекомендуется использовать: флюориметр объективный ФР-1, прибор типа 833, прибор ПЛКД-1, «Малютка», «Свет», а также импортные аналоги, обеспечивающие контроль флуоресценции.

Для обезжиривания манометров в собранном виде внутреннюю измерительную полость промывают растворителем с помощью шприца или других устройств, позволяющих вводить жидкость во входной канал штуцера. Растворитель должен находиться в обезжириваемых полостях не менее 20 мин.

Содержание масла в хладоне 113 перед обезжириванием должно соответствовать нормам, указанным в табл. 2.9 [22].

Таблица 2.9

Предельно допустимые концентрации масла в неотреботанном растворителе [22]

Давление измеряемой кислород-содержащей среды, МПа	Концентрация масла в хладоне 113 перед обезжириванием, мг/дм ³
До 1,6	1 000
Св. 1,6 до 6,4	500
Св. 6,4	200

Таблица 2.10

Предельно допустимые концентрации масла в отработанном растворителе для различных условий использования манометров согласно ОСТ 26-04-2158-78

Давление измеряемой кислород-содержащей среды, МПа	Концентрация масла в хладоне 113 после обезжиривания, мг/дм ³
До 1,6	10 000
Св. 1,6 до 6,4	5 000
Св. 6,4	2 000

Растворитель из внутренних полостей манометра после выдержки удаляют путем свободного стекания или вакуумированием.

Контроль за обезжириванием производится по замерам концентрации масла в отработанном растворителе. Эти концентрации не должны превышать значений, приведенных в табл. 2.10.

При производстве манометров, если технологические процессы изготовления, наладки и поверки обеспечивают чистоту поверхностей в соответствии с табл. 2.7 согласно ОСТ 26-04-2158-78 [22], обезжиривание не требуется.

Общетехнические приборы могут переводиться в разряд кислородных путем обезжиривания, последующего контроля масла на внутренних поверхностях и нанесения соответствующих обозначений на шкалу прибора. Однако это возможно только на специализированных предприятиях, как правило, входящих в структуру Государственной метрологической службы или которые аккредитованы на проведение таких работ.

2.2.4. Дифференциальные манометры

Дифференциальные манометры (далее — дифманометры), как отмечалось в § 1.3, являются показывающими приборами. (Устройства, обеспечивающие электрический выходной сигнал, пропорциональный измеряемому дифференциальному давлению, называются измерительными преобразователями разности давлений.) Хотя отдельные производители, а также некоторые специалисты-эксплуатационщики измерительные преобразователи разности давлений также называют дифманометрами.

Дифманометры в основном применяются в технологических процессах для измерения, контроля, регистрации и регулирования следующих параметров:

- расхода различных жидких, газообразных и парообразных сред по перепаду давления на разного рода сужающих устройств

вах (стандартных диафрагмах, соплах, включая сопла Вентури) и дополнительно вводимых в поток гидро- и аэродинамических сопротивлений, например на преобразователях типа Annubar или на нестандартных гидро- и аэродинамических препятствиях;

- перепада—разности давления, вакуумметрических, избыточных, в двух точках технологического цикла, включая потери на фильтрах систем вентиляции и кондиционирования воздуха;

- уровня жидких сред по величине гидростатического столба.

Согласно ГОСТ 18140-84 [23], предельные номинальные перепады давлений дифманометров-расходомеров, верхние пределы или сумма абсолютных значений верхних пределов измерений дифманометров-перепадомеров должны приниматься:

10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630 Па;

1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100; 160; 250; 400; 630 кПа;

1; 1,6; 2,5; 4; 6,3 МПа.

У дифманометров-расходомеров верхние пределы измерений выбираются из ряда, определяемого выражением

$$A = a \cdot 10^n, \quad (2.8)$$

где a — одно из чисел следующего ряда: 1; 1,25; 1,6; 2; 2,5; 3,2; 4; 5; 6,3; 8; n — целое (положительное или отрицательное) число или нуль.

Верхние пределы измерений или сумма абсолютных значений верхних пределов измерений дифманометров-уровнемеров следует выбирать из ряда:

0,25; 0,4; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 63; 100 и 160 м.

Одной из важных характеристик дифманометров является предельно допустимое рабочее избыточное давление, т.е. избыточное давление, которое могут выдержать рабочие каналы без необратимой деформации чувствительных элементов. Такое значение параметра принимается из следующего ряда:

25; 40; 63; 100; 160; 250; 400 и 630 кПа;

1; 1,6; 2,5; 4; 6,3; 10; 16; 25; 32; 40 и 63 МПа.

Нижние пределы измерений дифманометров-расходомеров из-за неустойчивости работы стандартных сужающих устройств при малых числах Рейнольдса измеряемого потока не должны превышать 30 % шкалы прибора. У преобразователей Annubar этот предел не превышает 10 % при сохранении объявленного класса точности (1,0).

Классы точности дифманометров принимаются из ряда: 0,25; 0,5; 1,0; 1,5.

Дифманометры должны иметь линейную шкалу при измерении уровня или перепада давлений, линейную или квадратичную — при измерении расхода.

Дифманометры могут иметь условные обозначения, предложенные в методике § 1.4. Указываются модель прибора, причем на первом месте в обозначении фиксируется измеряемый параметр — тип измерителя (дифманометр), затем — принцип измерения и функция, предельный номинальный перепад, избыточное рабочее давление, класс точности. Например, дифманометр сильфонный, показывающий в корпусе диаметром 160 мм, на предельный номинальный перепад давления 630 кПа, с рабочим избыточным давлением 32 МПа, класса точности 1,5 обозначается как

ДСП 160 (0...630 кПа)-32 МПа-1,5.

После этого допускается приводить дополнительные обозначения, например исполнение по «IP», измеряемой среде, присоединительным линиям и т.п.

Специфика измерения дифференциального давления обуславливает наличие в дифманометрах устройств продувки импульсных линий без необходимости демонтажа прибора или его узлов.

При испытаниях, а также в нормальных условиях работы отечественные дифманометры, согласно требованиям производителя, должны обеспечивать заданные метрологические характеристики после выдержки не менее 6 ч при температуре окружающей среды:

20 ± 2 или 23 ± 2 °C — для приборов классов точности 0,5; 0,6 и 1,0;

20 ± 5 или 23 ± 5 °C — для приборов класса точности 1,5.

Современные конструкции из-за снижения металлоемкости и совершенствования преобразователей позволяют сокращать время температурной адаптации некоторых моделей до нескольких десятков минут. Конкретная температура приведена в ТУ на измеритель и должна регистрироваться в техническом описании или паспорте на прибор.

Дифманометры, не защищенные от одностороннего воздействия, должны выдерживать перегрузку со стороны среды «плюсового» давления, превышающую предельные номинальные перепады на 10—50 %. «Плюсовым», в противовес «минусовому», называют большее из двух давлений среды, поступающей на вход дифференциального манометра.

Конструкции, для которых предусмотрены односторонние перегрузки, должны выдерживать десятикратные, стократные или двухсотпятидесятикратные односторонние перегрузки [23]

Показывающие дифференциальные манометры на основе трубчатых пружин находят широкое применение для визуализации расхода различных сред, гидродинамических потерь в системах теплового отопления. В приборах такого типа (рис. 2.16) на автономных держателях 1 и 2, соединенных вместе, установлены трубчатые пружины 3 и 4. Каждый держатель вместе с трубчатым чувствительным элементом образует автономные измерительные каналы. Среда «плюсового» давления поступает через присоединительный штуцер держателя 2 в трубку 4, деформирует ее овал, в результате чего перемещается наконечник трубки и это перемещение через соответствующий зубчатый сектор передается на трибку 5. Трибка соответственно приводит к отклонению указательной стрелки 6, которая показывает на шкале 7 значение «плюсового» избыточного давления.

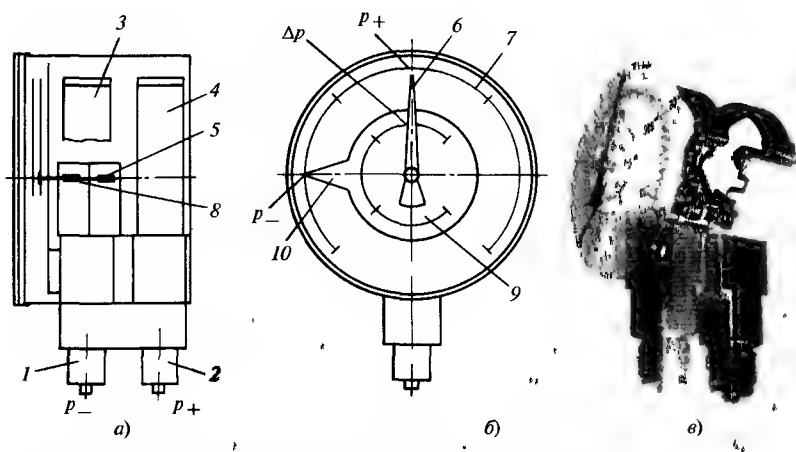


Рис. 2.16. Схема (а, б) и вид (в) дифференциального показывающего манометра на основе трубчатых пружин:

1, 2 держатели, 3, 4 — трубчатые пружины, 5, 8 — трибки, 6 — стрелка «плюсового» давления, 7, 9 — шкалы избыточного давления, 10 — стрелка «минусового» давления

«Минусовое» давление посредством держателя 1, трубчатой пружины 3, трибки 8 приводит к перемещению циферблата 9, объединенного со стрелкой 10, которая на шкале 7 отслеживает значение измеряемого параметра. Дифференциальное давление, т.е. разность давлений Δp , отсчитывается стрелкой на шкале дополнительного циферблата.

Дифманометры такого типа, исходя из особенностей трубчатых пружин, обеспечивают работоспособность в промышленных условиях в диапазоне от 0 до 100 МПа.

2.3. Измерители давления на основе мембран, сильфонов и других упругих элементов

Мембраны, мембранные коробки и сильфоны являются универсальными первичными преобразователями различных измерительных устройств, например тензометрических, емкостных, с компенсацией магнитных потоков, а также с дифференциально-трансформаторной связью и др. (см. гл. 5).

Использование этих элементов в качестве первичных преобразователей благодаря большой эффективной площади чувствительного элемента обеспечивает высокую точность измерений в большом диапазоне давлений. Наиболее широкое применение получили мембраны и сильфоны для измерения давления малых значений (до 40 кПа).

Мембраны — это упругие с плоской или гофрированной формой поверхности пластины, герметично закрепленные по периметру в жестком корпусе. Диаметр мембраны может составлять от десятков до сотен миллиметров и зависит от граничных габаритных размеров устройства, в котором она монтируется, задаваемого тягового усилия, величины перемещения центра, запаса прочности, метрологической надежности и др.

Для производства мембран в зависимости от их конструкции используют легированную сталь, бронзы, латуни, а также резины, пластмассы, упрочненные капроновыми тканями, металлическими или стеклянными нитями, и др.

Ранее при производстве гофрированных мембран применялись фосфористые и оловянистые бронзы. Для изготовления сильфонов использовали полутомпак — медно-цинковый сплав Л60 или сплав М016. Позднее для изготовления мембран начали применять бериллиевые бронзы Бр.Б2 и Бр Б2,5, относящиеся к дисперсионно-твердеющим сплавам. Снижение в последующем в этих сплавах бериллия, небольшое (доли процента) повышение никеля и титана

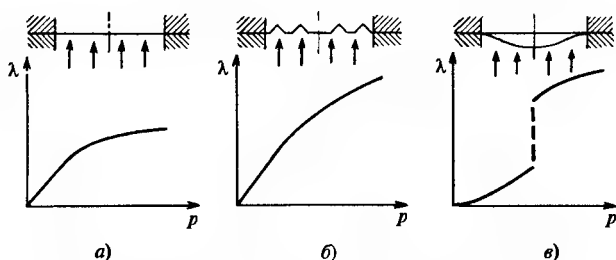


Рис. 2.17. Характеристики различных видов мембран:

а — плоская, *б* — гофрированная, *в* — выпуклая (хлопающая)

позволили получить сплавы БНТ1,7 и БНТ1,8, имеющие по своим характеристикам преимущества перед бериллиевыми бронзами.

Уникальными свойствами обладает сталь 36НХТЮ (36 % никеля, 12 % хрома, 3 % титана), обеспечивающая работоспособность при температурах до 250 °С, а также сталь марки 36НХТЮМ5 (М8), используемая при температурах 300—320 °С, а в некоторых случаях при 400 °С и выше.

Основой для изготовления гофрированных мембран являются тонкие (от 0,05 до 2 мм) металлические листы, обрабатываемые штамповкой, обеспечивающей хорошую повторяемость характеристик единой производимой партии.

Характеристики мембран существенно зависят от конструктивных особенностей (рис. 2.17). Так, плоские мембраны имеют явно затухающую характеристику, гофрированные из-за волнообразной поверхности при оптимальном выборе размеров и формы гофров — близкую к линейной. Выпуклые (хлопающие) мембраны широко применяются в различных контактных устройствах.

При использовании мембран для измерения небольшого давления на вид зависимости прогиба упругого чувствительного элемента от величины воздействующего давления могут оказывать влияние особенности краевой заделки. Устранение такого влияния достигается противодействием, возвращающим мембрану в первоначальное состояние. Такой метод применяют, когда исключена возможность пробоотбора, а также при необходимости проведения измерений давления в зонах с высокими температурными параметрами без значительного теплоотвода.

Мембранная система отсчета давления с электрической индикацией для высокоточных измерений (исследований) основана не на

прогибе мембраны, а на удержании этой мембраны в нейтральном положении. Давление измеряемой среды воздействует на одну сторону мембраны. Деформации этой мембраны противодействует с другой стороны, например давление нейтрального газа, поступающего из внешнего источника. Положение мембраны в таких системах отслеживается дополнительным нуль-индикатором. Отсчет измеряемого давления проводится по давлению нейтрального газа.

Известны также методы, в которых давление, вызывающее прогиб мембраны, компенсируется электрическим воздействием, приводящим упругий чувствительный элемент в исходное положение.

2.3.1. Манометры на основе мембран, мембранных коробок, сильфонов

В манометрических приборах, предназначенных для измерения *малых значений давления*, в большинстве случаев используют мембраны, мембранные коробки или сильфоны. Соответственно эти приборы могут называться мембранными или сильфонными манометрами.

Согласно [16] мембранный манометр — это деформационный манометр, в котором чувствительным элементом является мембрана или мембранная коробка.

Соответственно *сильфонный манометр* — это также деформационный манометр, но чувствительным элементом в нем является сильфон.

В серии приборов: напорометров, тягомеров, тягонапорометров НМП-100, ТмМП-100, ТНМП-100 (рис. 2.18) — в качестве чувствительного элемента используется мембранная коробка 1, закрепленная на основании 2 каркаса 3. Измеряемая среда давлением $P_{изм}$ подается через подводящий штуцер 4 внутрь мембранной коробки, что вызывает перемещение ее незакрепленного жесткого центра, которое передается на тягу 5 и приводит в действие коромысло 6. Длинной тяги также регулируется нулевое показание прибора. От коромысла через плечо 7 перемещение поступает на штифт 8, посредством которого линейное движение преобразуется в угловой сдвиг оси 9, на которой закреплена стрелка 10. Таким образом величина измеряемого давления отображается перемещением стрелки на шкале прибора 11.

Прибор монтируется в прочном литом из алюминиевого сплава корпусе 12. Каркас крепится в корпусе с помощью подводящего штуцера. Стекло 13 фиксируется стопорным кольцом 14

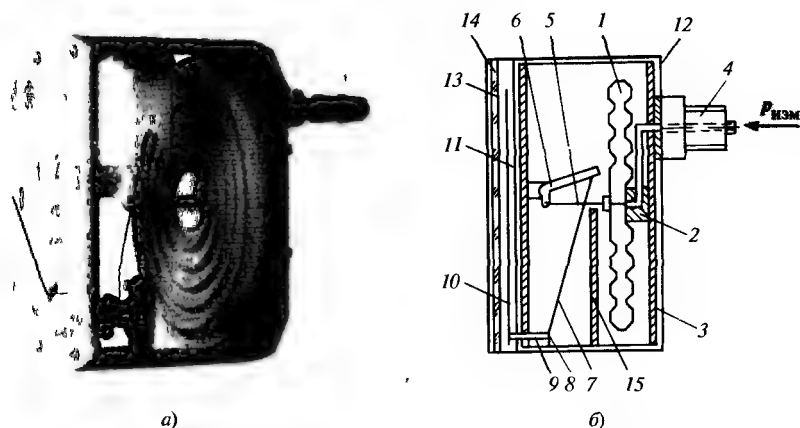


Рис. 2.18. Мембранный манометрический прибор типа НМП:

а — вид измерительной части, *б* — схема, 1 — мембранная коробка, 2 — основание, 3 — каркас, 4 — подводный штуцер, 5 — тяга, 6 — коромысло, 7 — плечо, 8 — штифт, 9 — ось, 10 — стрелка, 11 — шкала, 12 — корпус, 13 — стекло, 14 — стопорное кольцо, 15 — упор

Упор 15 предназначен для исключения необратимой деформации мембранной коробки при воздействии давления выше предельно допустимого.

Обращает на себя внимание тот факт, что смещенно-осевой передаточный механизм, состоящий из тяги, коромысла, плеча и штифта, с большим запасом люфтов и настроечных винтов не совершенен для сегодняшнего уровня технологий. Поэтому класс точности мембранных манометров типа МП не выше чем 1,5, а угол поворота указательной стрелки — угол размаха шкалы — не превышает 90°.

Разновидностью конструкции напоромера МП является модель с корпусом прямоугольной формы (72×144 мм), в котором (рис. 2.19) угол поворота указательной стрелки менее 90°, но из-за фронтального размещения шкалы ее информативность значительно возрастает. Мембранная коробка 1 закреплена на основании 2. Центр верхней образующей мембранной коробки и коромысло 3 связаны тягой 4. Плечо коромысла соединено тягой 5 с плечом 6 оси 7, которая также служит осью вращения стрелки 8. Для обеспечения устойчивости стрелки она оснащена противовесом 9. Отсчет показаний прибора производится по шкале 10.

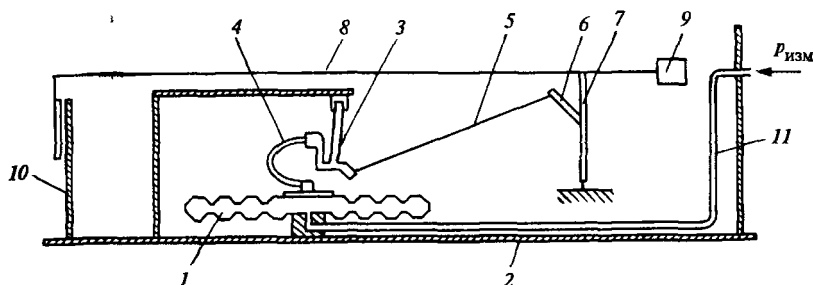


Рис. 2.19. Мембранный напоромер типа МП в корпусе прямоугольной формы: 1 — мембранная коробка, 2 — основание, 3 — коромысло, 4, 5 — тяга, 6 — плечо, 7 — ось, 8 — стрелка, 9 — противовес, 10 — шкала, 11 — подводящая линия

Измеряемая среда давлением $p_{изм}$ через подводящую линию 11 поступает во внутреннюю полость мембранной коробки. Под ее воздействием перемещается центр коробки, и через систему рычагов и тяг 4, 3, 5, 6 это перемещение преобразуется в поворот оси, на которой установлена стрелка.

В большинстве случаев нелинейность статических характеристик мембранных коробок не превышает 10—15 % и устраняется изменением длины тяг, а также углов их зацеплений.

Многие зарубежные и некоторые отечественные фирмы производят мембранные манометрические приборы с компактным центрально-осевым передаточным механизмом (рис. 2.20).

Мембрана 1 герметично припаяна к площадке 2, с которой образует рабочую полость чувствительного элемента. Центральная часть мембраны имеет снаружи полированную площадку, с которой соприкасается шарик передаточного механизма 3, представляющего собой компактное устройство с миниатюрным рычажно-секторной системой, более детальная схема которого представлена на рис. 2.21.

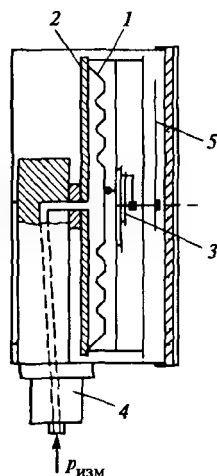


Рис. 2.20. Показывающий манометрический прибор на основе мембраны:

1 — мембрана, 2 — площадка, 3 — передаточный механизм, 4 — держатель, 5 — стрелка

Измеряемое давление через подводящий штуцер держателя 4 поступает в рабочую полость чувствительного элемента, перемещающая центр мембраны 1. Этот сдвиг передается центрально-осевым передаточным механизмом на стрелку 5 (см. рис. 2.20).

Диапазон измеряемого давления определяется свойствами мембран и ограничивается для таких конструкций, как правило, в пределах от 0 до 2,5—100 кПа. При этом класс точности может составлять 1,5; 1,0; 0,6; 0,4, а в ряде типов приборов 0,25 при размахе шкалы до 270° , а в отдельных конструкциях до 330° .

Встречаются конструкции со сдвоенными мембранами, например дифманометр с мембранными коробками (см. рис. 2.24), обеспечивающие более высокий класс точности измерения.

Мембраны изготавливаются из различных бронз, нержавеющей стали. Приборы выпускаются в корпусах малых (63 мм), средних и больших диаметров (100 и 160 мм).

Центрально-осевой передаточный механизм (см. рис. 2.21) используется в различных мембранных манометрических приборах. На основании 1 установлена поворотная ось 2 с закрепленными на ней под углом примерно 90° шаровой опорой 3 и упором 4. Конеч упора соприкасается с нижней частью зубчатого сектора 5, установленного в паре с трибкой 6. На оси трибки закреплена спиральная пружина 7, устраняющая вибрации при прямом и обратном ходе. Верхняя плата 8 со стойками 9 обеспечивает дополнительную опору трибке и оси зубчатого сектора.

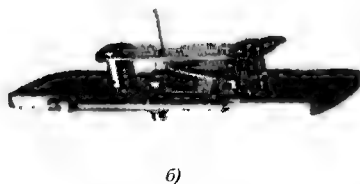
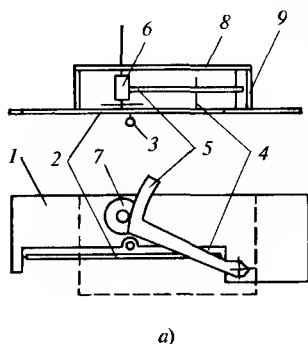


Рис. 2.21. Схема (а) и вид (б) центрально-осевого передаточного механизма:
1 — основание; 2 — поворотная ось; 3 — шаровая опора; 4 — упор; 5 — зубчатый сектор; 6 — трибка; 7 — спиральная пружина; 8 — верхняя плата; 9 — стойка

Механизм работает следующим образом. Перемещение центра мембраны приводит к перемещению шаровой опоры, что, в свою очередь, приводит к осевому развороту поворотной оси. Этот разворот обеспечивает смещение упора на определенный угол, которое воздействует на сектор и через зубчатое зацепление приводит к повороту трибки.

Центрально-осевой передаточный механизм конструктивно несложен, но при изготовлении требует достаточно высоких технологий обработки металла.

Мембраны нашли применение в качестве чувствительных элементов при измерении малого и среднего давлений особенно вязких и загрязненных сред. Такие приборы менее чувствительны к вибрациям и пульсациям измеряемой среды, применимы при соответствующей защите мембраны для работы с агрессивными средами. Главным их недостатком является малый ход мембраны (1,5—2 мм), что предопределяет повышенные требования к передаточному трибно-секторному механизму.

На рис. 2.22 показана схема манометра, в котором мембрана 1 герметично приварена к фланцу 2. В центре мембраны закреплен шток 3, соединенный с рычагом зубчатого сектора 4. В контакте

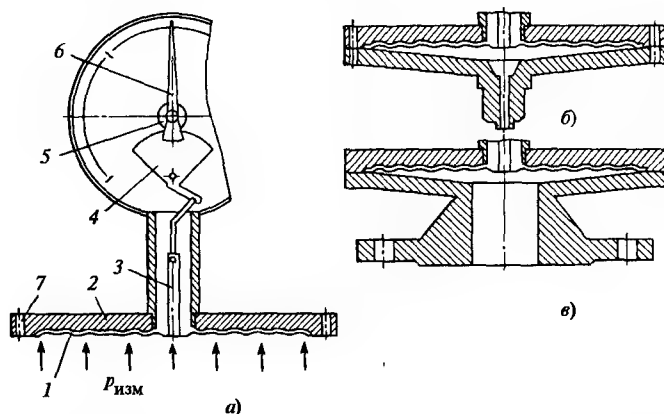


Рис. 2.22. Мембранный манометр для измерения давления вязких и загрязненных сред, а также виды его присоединительных фланцев:

а — с открытой мембраной; б — с подводящим штуцером; в — с дополнительным фланцем; 1 — мембрана, 2 — фланец; 3 — шток, 4 — зубчатый сектор; 5 — трибка; 6 — стрелка; 7 — крепежные отверстия

с зубьями сектора находится трибка 5, на оси которой установлена стрелка 6. Шток состоит из двух частей и крепежного винта, обеспечивающего фиксацию оптимальной его длины при настройке прибора.

Измеряемое давление $p_{\text{изм}}$ воздействует на мембрану, в результате чего перемещается ее центр, и через шток, зубчатый сектор этот сдвиг преобразуется в поворот указательной стрелки. Крепежные отверстия 7 предназначены для монтажа прибора к соответствующему фланцу, приваренному к технологическому трубопроводу.

Мембранные манометры могут выполняться как с открытой мембраной (рис. 2.22, а), так и с подводящим штуцером (рис. 2.22, б), а также с дополнительным фланцем (рис. 2.22, в).

Основное применение манометры с открытой мембраной нашли при измерении жидких сред с повышенной вязкостью или различными вкраплениями, в технологических линиях, где периодически требуется промывать оборудование и исключаются «застойные» зоны рабочего вещества.

Мембранные манометры используются для измерения малых (от 0 до 1—25 кПа) и средних (от 0 до 0,04—2,5 МПа) давлений. Большая площадь мембраны ограничивает возможность перегрузочных давлений (не более 4 МПа), хотя внутренний профиль присоединительного фланца повторяет профиль мембраны и обеспечивает сохранение его формы при незначительных перегрузках.

2.3.2. Дифманометры

Малые значения дифференциального давления могут измеряться приборами на основе мембран и сильфонов.

Манометры дифференциальные сильфонные показывающие типа ДСП-160 нашли широкое применение на территории СНГ. Принцип их действия основан на деформации двух автономных сильфонных блоков, находящихся под воздействием «плюсового» и «минусового» давления. Эти деформации преобразуются в перемещение указательной стрелки прибора. Перемещение стрелки осуществляется до установления равновесия между «плюсовым» и «минусовым» сильфонами, и цилиндрической пружины.

«Плюсовой» 1 и «минусовой» 2 сильфоны (рис. 2.23, б) соединены между собой штоком 3, функционально связанным с рычагом 4, который, в свою очередь, неподвижно закреплен на оси торсионного вывода 5. К концу штока на выходе «минусового» сильфона присоединена цилиндрическая пружина 6, закрепленная

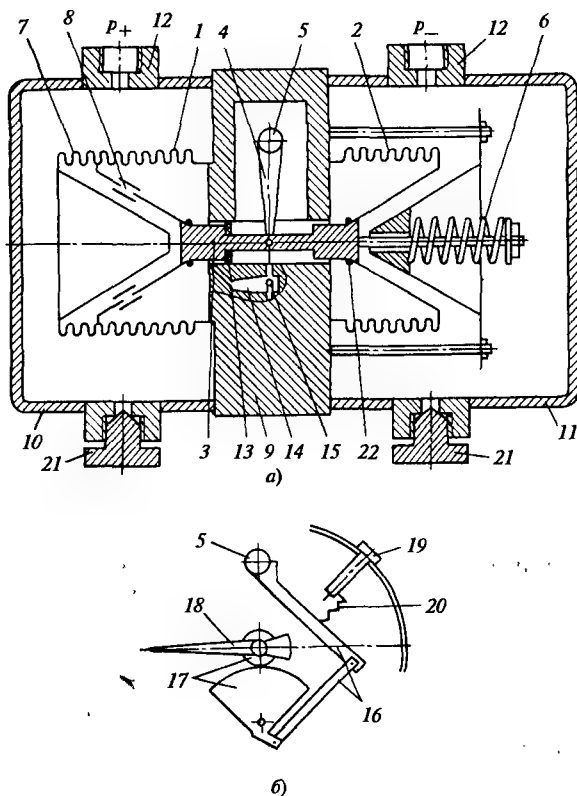


Рис. 2.23. Дифференциальный сильфонный манометр:

a — схема привода стрелки; *б* — блок первичного преобразования; 1 — «плюсовой» сильфон; 2 — «минусовой» сильфон; 3 — шток; 4 — рычаг; 5 — торсионный вывод; 6 — цилиндрическая пружина; 7 — компенсатор; 8 — плоскостный клапан; 9 — основание; 10, 11 — крышки; 12 — подводный штуцер; 13 — манжета; 14 — дросселирующий канал; 15 — клапан; 16 — рычажная система; 17 — трибко-секторный механизм; 18 — стрелка; 19 — регулировочный винт; 20 — натяжная пружина; 21 — пробка; 22 — уплотнительное резиновое кольцо

нижним основанием на компенсаторе 7 и работающая на растяжение. Каждому номинальному перепаду давления соответствует определенная пружина.

«Плюсовой» сиффон состоит из двух частей. Его первая часть — компенсатор 7, состоящий из трех дополнительных гофр и плоскостного клапана 8 — предназначена для уменьшения температурной погрешности прибора из-за изменения объема жидкостного наполнителя, обусловленного варьированием температуры окружающего воздуха. При изменении температуры окружающей среды и соответственно рабочей жидкости ее увеличивающийся объем перетекает через плоскостной клапан во внутреннюю полость сиффонов. Вторая часть «плюсового» сиффона — рабочая и идентична по конструкции «минусовому» сиффону.

«Плюсовой» и «минусовый» сиффоны присоединены к основанию 9, на котором установлены крышки 10 и 11, образующие вместе с сиффонами «плюсовую» и «минусовую» камеры с соответствующими подводящими штуцерами 12 давлений p_+ и p_- .

Внутренние полости сиффонов, так же как и внутренняя полость основания 9, заполняются: жидкостью ПМС-5 для обычного и коррозионно-стойкого исполнений; составом ПЭФ-703110 — в кислородном варианте; дистиллированной водой — в варианте для пищевой промышленности и жидкостью ПМС-20 — для газового исполнения.

В конструкциях дифманометров, предназначенных для измерения давления газа, на шток надета манжета 13, движение среды организовано через дросселирующий канал 14. Регулированием размера проходного канала с помощью клапана 15 обеспечивается степень демпфирования измеряемого параметра.

Дифманометр работает следующим образом. Среды «плюсового» и «минусового» давлений поступают через подводящие штуцеры в «плюсовую» и «минусовую» камеры соответственно. «Плюсовое» давление в большей степени воздействует на сиффон 1, сжимая его. Это приводит к перетoku находящейся внутри жидкости в «минусовый» сиффон, который растягивается и разжимает цилиндрическую пружину. Такая динамика происходит до уравнивания сил взаимодействия между «плюсовым» сиффоном и парой «минусовый» сиффон — цилиндрическая пружина. Мерой деформации сиффонов и их упругого взаимодействия служит перемещение штока, которое передается на рычаг и соответственно на ось торсионного вывода. На этой оси (рис. 2.23, а) закреплена рычажная система 16, обеспечивающая передачу вращения оси

торсионного вывода к трибно-секторному механизму 17 и стрелке 18. Таким образом, воздействие на один из сильфонов приводит к угловому перемещению оси торсионного вывода и затем к повороту указательной стрелки прибора.

Регулировочным винтом 19 с помощью натяжной пружины 20 производится корректировка нулевой точки прибора.

Пробки 21 предназначены для продувки импульсных линий, промывки измерительных полостей сильфонного блока, слива рабочей среды, заполнения измерительных полостей разделительной жидкостью при вводе прибора в работу.

При односторонней перегрузке одной из камер происходит сжатие сильфона и перемещение штока. Клапан в виде уплотнительного резинового кольца 22 садится в гнездо основания, перекрывает переток жидкости из внутренней полости сильфона, и таким образом предотвращается его необратимая деформация. При непродолжительных перегрузках разность «плюсового» и «минусового» давлений на сильфонный блок может достигать 25 МПа, а в отдельных типах приборов — 32 МПа.

Прибор может выпускаться как в общетехническом, так и в аммиачном (А), кислородном (К), коррозионно-стойком пищевом (Пп) исполнениях.

Достаточно широкое распространение получили приборы на основе мембран и мембранных коробок. В одном из вариантов (рис. 2.24) мембранная коробка 1, внутрь которой через подводящий штуцер держателя 2 поступает «плюсовое» давление, является чувствительным элементом дифманометра. Под воздействием этого давления смещается подвижный центр мембранной коробки.

Среда «минусового» давления через подводящий штуцер держателя 3 подается внутрь герметичного корпуса 4 прибора и воздействует на мембранную коробку снаружи, создавая противодействие перемещению ее подвижного центра. Таким

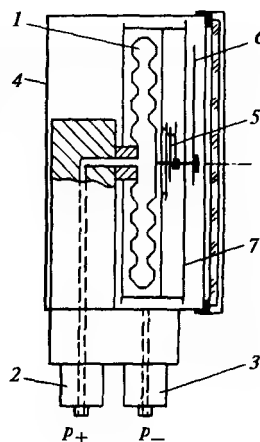


Рис. 2.24. Показывающий дифференциальный манометр на основе мембранной коробки:

1 — мембранная коробка; 2 — держатель «плюсового» давления; 3 — держатель «минусового» давления; 4 — корпус; 5 — передаточный механизм; 6 — стрелка; 7 — циферблат

образом «плюсовое» и «минусовое» давления уравнивают друг друга, а перемещение подвижного центра мембранной коробки свидетельствует о величине разностного — дифференциального — давления. Этот сдвиг через передаточный механизм 5 передается на указательную стрелку 6, которая на шкале циферблата 7 показывает измеряемое дифференциальное давление.

Диапазон измеряемого давления определяется свойствами мембран и ограничивается, как правило, в пределах от 0 до 0,4—40 кПа. При этом класс точности может составлять 1,5; 1,0; 0,6; 0,4, а в некоторых приборах 0,25.

Обязательная конструктивная герметичность корпуса обуславливает высокую защищенность от внешних воздействий и определяется в основном уровнем IP66.

В качестве материала для чувствительных элементов приборов используются бериллиевая и другие бронзы, а также нержавеющая сталь; для штуцеров, передаточных механизмов — медные сплавы, коррозионно-стойкие сплавы, включая нержавеющую сталь.

Приборы могут изготавливаться в корпусах малых (63 мм), средних (100 мм) и больших (160 мм) диаметров.

Мембранные показывающие дифференциальные манометры (рис. 2.25—2.27), как и приборы с мембранными коробками, используются для измерения малых значений дифференциального давления. Отличительной особенностью таких приборов является устойчивая работа при высоком статическом давлении.

Дифманометр с вертикальной мембраной (рис. 2.25) состоит из «плюсовой» 1 и «минусовой» 2 рабочих камер, разделенных чувствительной гофрированной мембраной 3. Под воздействием давления мембрана деформируется, в результате чего перемещается ее центр вместе с закрепленным на нем передающим штоком 4. Линейное смещение штока в передаточном механизме 5 преобразуется в осевое вращение трибки

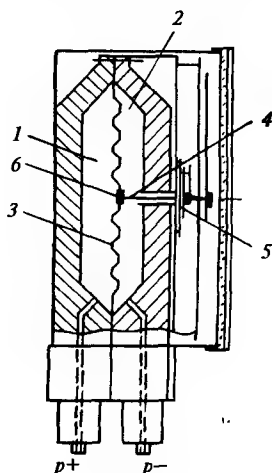


Рис. 2.25. Мембранный показывающий дифференциальный манометр с вертикальной мембраной:

1 — «плюсовая» камера; 2 — «минусовая» камера; 3 — чувствительная гофрированная мембрана; 4 — передающий шток; 5 — передаточный механизм; 6 — предохранительный клапан

и соответственно указательной стрелки, отсчитывающей на шкале прибора измеряемое давление.

Для сохранения работоспособности чувствительной гофрированной мембраны при превышении максимального допустимого статического давления предусмотрен открывающийся предохранительный клапан 6. Конструкции клапанов могут быть различные. Соответственно такие приборы не могут использоваться, когда не допускается контакт сред из «плюсовой» и «минусовой» камер.

Дифманометр с горизонтальной чувствительной мембраной показан на рис. 2.26. Входной блок 3 состоит из двух частей, между которыми устанавливается гофрированная мембрана 4. В ее центре закреплен толкатель 5, передающий перемещение от мембраны через сектор 6, трибку 7 к стрелке 8. В передаточном звене линейное перемещение толкателя преобразуется в осевое вращение стрелки 8, отслеживающей на шкале циферблата 9 измеряемое давление. В этой конструкции применена сильфонная система вывода толкателя из зоны рабочего давления. Основание разделительного сильфона 10 герметично закреплено в центре чувствительной мембраны. Верхняя часть сильфона также герметично прикрепляется к входному блоку. Такая конструкция исключает контакт измеряемой и окружающей сред.

Конструкция входного блока предусматривает возможность промывки или продувки «плюсовой» и «минусовой» камер и обеспечивает применение таких приборов для работы даже в условиях загрязненных рабочих сред.

Двухкамерная система измерения дифференциального давления применяется в конструкции прибора, показанного на рис. 2.27. Измеряемые потоки среды направляются в «плюсовую» 1 и «минусовую» 2 рабочие камеры, основными функциональными элементами которых являются автономные чувствительные мембраны. Преобладание одного давления над другим приводит к линейному перемещению передающего штока 3, которое через коромысло 6 передается соответственно на сектор 4, трибку 5 и систему стрелочной индикации измеряемого параметра.

Дифманометры с двухкамерной системой измерения используются для измерения малых дифференциальных давлений при высоких статических нагрузках, давлений вязких сред и сред с твердыми включениями.

Принципиально иной показывающий дифманометр изображен на рис. 2.28. Поворотный магнит 1, на торце которого установлена стрелка 2, размещен в корпусе 3, выполненном из немагнитного

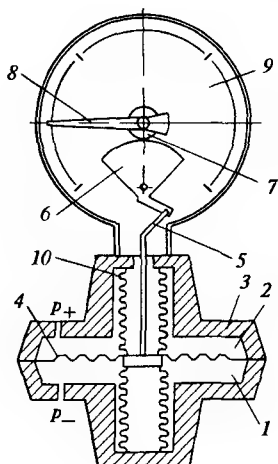


Рис. 2.26. Мембранный показывающий дифференциальный манометр с горизонтальной мембраной:

1 — «плюсовая» камера, 2 — «минусовая» камера, 3 — входной блок, 4 — чувствительная гофрированная мембрана, 5 — толкатель, 6 — сектор, 7 — трибка, 8 — стрелка, 9 — циферблат, 10 — разделительный сильфон

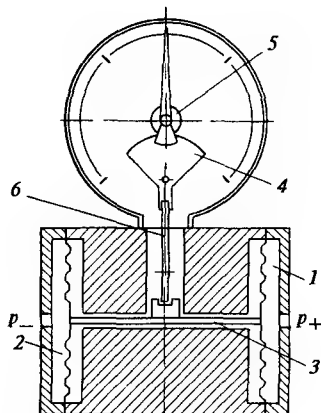


Рис. 2.27. Мембранный двухкамерный показывающий дифманометр:

1 — «плюсовая» камера, 2 — «минусовая» камера, 3 — передающий шток, 4 — сектор, 5 — трибка, 6 — коромысло

металла. Магнитный поршень, уплотненный фторопластовым сальником 5, может передвигаться в рабочем канале 6. Магнитный поршень 4 со стороны «минусового» давления подпирает пробка 7, в свою очередь поджимаемая диапазонной пружиной 8.

«Плюсовое» давление через соответствующий подводящий штуцер воздействует на магнитный поршень и сдвигает его вместе с пробкой 7 по каналу 6 до уравнивания такого смещения противодействующими силами — «минусовым» давлением и диапазонной пружиной. Движение магнитного поршня приводит к осевому вращению поворотного магнита и соответственно указательной стрелки. Такой сдвиг пропорционален перемещению стрелки. Полное согласование достигается подбором упругих характеристик диапазонной пружины.

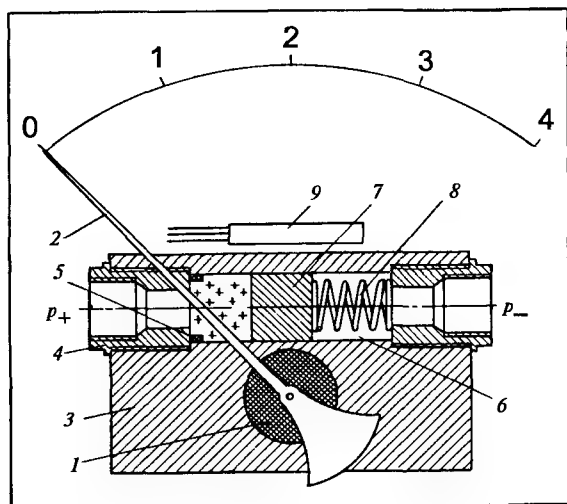


Рис. 2.28. Дифманометр с магнитным преобразователем:

1 — поворотный магнит, 2 — стрелка, 3 — корпус, 4 — магнитный поршень, 5 — фторопластовый сальник, 6 — рабочий канал, 7 — пробка, 8 — диапазонная пружина, 9 — блок электроконтактов

В дифманометре с магнитным преобразователем предусмотрен блок 9, замыкающий и размыкающий соответствующие контакты при прохождении вблизи него магнитного поршня

Приборы с магнитным преобразователем устойчивы к воздействию статического давления (до 10 МПа). Они обеспечивают относительно невысокую погрешность (примерно 2 %) в диапазоне функционирования до 0,4 МПа и используются для измерения давления воздуха, газов и различных жидкостей.

3

СТЕКЛЯННЫЕ ЖИДКОСТНЫЕ ПРИБОРЫ

Жидкостные манометрические приборы были одними из первых устройств, примененных для измерения давления. Простота и надежность гидростатического метода, сущность которого состоит в уравнивании измеряемого давления весом столба жидкости соответствующей высоты, а также простота конструкции и достаточно высокая точность измерений обеспечивают использование жидкостных манометрических приборов и в настоящее время.

Жидкостный манометр — это манометр, принцип действия которого основан на уравнивании измеряемого давления или разности давлений давлением столба жидкости [16]. Жидкостные манометры широко применяются для измерения давления в пределах 7 кПа, а в отдельных случаях — до 500 кПа.

К жидкостям, применяемым в жидкостных манометрических приборах в качестве наполнителя, предъявляются следующие основные требования:

- химическая инертность в температурном диапазоне окружающей среды;
- безвредность для обслуживающего персонала;
- временная и температурная устойчивость цвета и прозрачности;
- отсутствие влагопоглощения и низкая испаряемость;
- малый температурный коэффициент объемного расширения;
- высокая текучесть — низкая вязкость;
- слабая смачиваемость.

В качестве жидкостей в манометрических приборах гидростатического способа используются этиловый спирт (ректификат), дистиллированная вода, четыреххлористый углерод, четыреххлористый ацетилен (тетрабромэтан), ртуть, раствор двуйодистой ртути в йодистом калии (жидкость Туле). Эти наполнители нельзя считать идеальными для применения в измерительных манометрических приборах, так как, например, этиловый спирт, четыреххлористые углерод и ацетилен отнесены к группе психотропных, ртутьсодержащие вещества признаны опасными для здоровья человека, вода вызывает коррозию железосодержащих сплавов.

Известны конструкции жидкостных манометров с видимым и невидимым уровнями рабочей среды. Манометрические приборы с невидимым уровнем базируются на отслеживании положения поплавка или изменении характеристик различных устройств, которые обеспечивают индикацию измеряемой величины или формируют сигнал для дистанционной передачи по величине контролируемого параметра уровень — давление. Трубки в таких устройствах могут выполняться металлическими и выдерживать достаточно большое давление. В манометрических приборах со стеклянными трубками отсчет измеряемой величины производится непосредственно по изменению уровня жидкости в них.

3.1. U-образные манометры

U-образный манометр — это жидкостный манометр, состоящий из сообщающихся сосудов, в которых измеряемое давление определяют по одному или нескольким уровням жидкости [16].

В U-образных стеклянных манометрах свободный конец трубки сообщается с атмосферой, а к другому подводится измеряемое давление. Простейшая схема измерения давления жидкостным стеклянным манометром показана на рис. 3.1.

Атмосферное давление $p_{\text{атм}}$ воздействует на один конец U-образной трубки, частично заполненной рабочей жидкостью. Другой конец трубки с помощью различного рода подводящих устройств соединен с областью измеряемого давления $p_{\text{абс}}$. При $p_{\text{абс}} > p_{\text{атм}}$ жидкость, находящаяся в части подведенного измеряемого давления, будет вытесняться в часть, соединенную с атмосферой. В результате между уровнями жидкостей, находящимися в разных частях U-образной трубки, образуется столб жидкости, высота h которого определяется из выражения

$$h = (p_{\text{абс}} - p_{\text{атм}}) / (\rho_{\text{ж}} - \rho_{\text{атм}})g, \quad (3.1)$$

где $p_{\text{абс}}$ — абсолютное измеряемое давление; $\rho_{\text{ж}}$ — плотность рабочей жидкости; $\rho_{\text{атм}}$ — то же окружающей атмосферы; g — ускорение свободного падения, принимаемое в среднем равным $9,80665 \text{ м/с}^2$, но имеющее зависимость от географической широты местности.

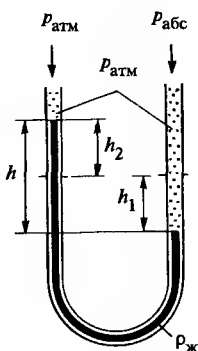


Рис. 3.1. Схема функционирования стеклянного жидкостного манометра

Высота столба рабочей жидкости h состоит из двух частей: высоты h_1 , представляющей понижение столба жидкости относительно начального, т.е. «нулевого», уровня и высоты h_2 , отражающей его повышение в другой части U-образной трубки, т.е. увеличение относительно начального положения — «нуля».

Плотностью окружающей среды, т.е. воздуха, из-за условия $\rho_{\text{ж}} \gg \rho_{\text{атм}}$ можно пренебречь. Учитывая выражение (1.3), определяющее разность между абсолютным и атмосферным давлениями как избыточное, зависимость (3.1) можно представить в виде

$$h = p_{\text{изб}} / (\rho_{\text{ж}} g). \quad (3.2)$$

Здесь $p_{\text{изб}}$ — измеряемое избыточное давление.

Из (3.2) измеряемое избыточное давление, определяемое с помощью стеклянного жидкостного манометра, может определяться как

$$p_{\text{изб}} = h \rho_{\text{ж}} g. \quad (3.3)$$

Для измерения давления разреженных газов также используют жидкостные стеклянные манометры (рис. 3.2). В этих приборах измеряемое вакуумметрическое давление подводится к одному концу стеклянной U-образной трубки. Для этого случая выражение (3.1) в общем виде можно представить

$$-h = (p_{\text{атм}} - p_{\text{абс}}) / (\rho_{\text{ж}} g). \quad (3.4)$$

Соответственно если второй конец U-образной трубки будет соединен с атмосферой, то вакуумметрическое избыточное давление определяется

$$p_{\text{атм}} - p_{\text{абс}} = -h \rho_{\text{ж}} g. \quad (3.5)$$

Знак «минус» в уравнении (3.4) перед h определяет вакуумметрическое давление. Высота столба жидкости h в этом случае определяет верхний предел диапазона измерения и определяется

$$h = h_1 + h_2. \quad (3.6)$$

Здесь h_1 и h_2 — высота столбов жидкости, вытесненной под воздействием измеряемого давления от начальной отметки — нуля в двух трубках U-образного манометра.

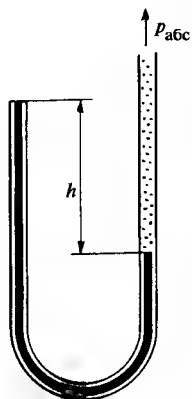


Рис. 3.2. Схема стеклянного жидкостного вакуумметра абсолютного давления

Рис. 3.3. U-образный жидкостный стеклянный мановакуумметр:

1 — U-образная стеклянная трубка; 2 — крепежные скобы; 3 — основание; 4 — шкальная пластина

В некоторых типах приборов второй конец U-образной трубки герметично запаивается, а воздух в запаянном конце «откачивается» и при заполнении рабочей жидкостью давление близко к «абсолютному нулю», т.е. прибор заполняется рабочей жидкостью под вакуумом и давление противодействия $p_{\text{атм}} = 0$. Тогда выражение (3.5) может быть представлено в следующем виде:

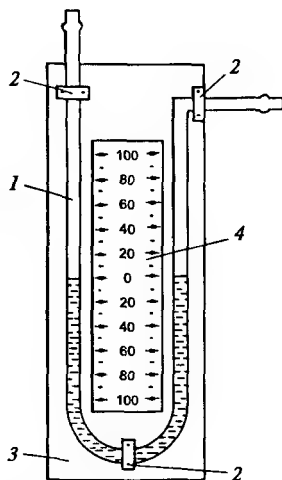
$$p_{\text{абс}} = h\rho_{\text{ж}}g. \quad (3.7)$$

Конструкция, в которой запаянный конец перед заполнением рабочей жидкостью вакуумируется, может использоваться в качестве барометра. Отсчет значения барометрического давления производится по величине столба жидкости в запаянной части трубки.

На рис. 3.3 показан U-образный жидкостный стеклянный мановакуумметр. U-образная стеклянная трубка 1 с помощью скоб 2 крепится на металлическом или деревянном основании 3. На нем же между двумя трубками установлена шкальная пластина 4 с нанесенной линейной разметкой. Трубка заполняется рабочей жидкостью до нулевой отметки относительно шкальной пластины. Утолщения на концах стеклянной трубки предназначены для более плотного подсоединения резиновых шлангов.

При измерении избыточного давления к одному концу U-образной трубки подается среда измеряемого давления. Второй выход остается свободным и сообщается с атмосферой. Аналогичная ситуация происходит при измерении вакуумметрического давления. Симметричная линейная разметка на шкальной пластине позволяет применять прибор для измерения избыточного и (или) вакуумметрического давлений.

При измерении дифференциального (разностного) давления «плюсовой» и «минусовой» каналы подсоединяются автономно к концам стеклянной U-образной трубки 1. Из-за симметричности линейной разметки шкалы практически отсутствуют различия



в соответствии подведенных плюсового и минусового к соответствующим концам трубки.

U-образные жидкостные манометры с водой в качестве рабочей жидкости могут использоваться как напоромеры, тягонапоромеры и тягомеры для измерения давления воздуха, неагрессивных газов в диапазоне ± 10 кПа. При давлении $\pm 0,1$ МПа рабочей жидкостью манометра может служить ртуть. Такие приборы применяются для измерения давления воды, неагрессивных жидкостей и газов.

Ниже приведены приблизительные оценки основных погрешностей, действующих, по данным С. Ф. Чистякова [2], на точность показаний стеклянного жидкостного манометра:

- погрешность градуировки шкалы составляет до 0,2—0,4 мм;
- смачиваемость стекла — капиллярные силы вносят неточность до 0,1—0,2 мм;
- отклонение прибора от строго вертикального положения может приводить к погрешности до 0,03 % на каждый градус.

Кроме того, достаточно большую погрешность вносят неравномерность сечения стеклянных трубок по их высоте, а при точных измерениях, как это следует из (3.3), варьирование плотности рабочей жидкости $\rho_{\text{ж}}$ с изменением ее температуры, а также ускорение свободного падения g .

При использовании табличных данных погрешность определения плотности рабочей жидкости $\rho_{\text{ж}}$ не превышает 0,005 %. Следует обратить внимание на применение жидкостей, способных поглощать влагу или испаряться. Так, в большинстве случаев теоретическая и реальная плотности спиртов различаются, и табличные данные принимаются по некорректным начальным параметрам, что изначально приводит к появлению погрешности.

Некоторые производители к документации на жидкостный измеритель давления прилагают таблицу изменения плотности рабочей жидкости и поправок на вариацию этой плотности в зависимости от температуры, а также, например для спиртов, — таблицу зависимости плотности от его крепости.

Ускорение свободного падения g незначительно зависит от географической широты местности. Его величина остается постоянной в рабочем регионе, не зависит от измеряемого давления, и поэтому вносимые этим параметром погрешности не превышают 10^{-3} — 10^{-4} %.

Визуальная оценка оператором уровня давления также может влиять на погрешность измерения. Разработаны различные мето-

ды снижения такой погрешности. Например, установка несложной оптической системы, позволяющей «накладывать» реальный и перевернутый мениски жидкости, обеспечивает значительное повышение точности отсчета уровня жидкости в жидкостном манометрическом приборе.

М.А. Гуляев и А.В. Ерюхин [24] предложили в зависимости от применяемых способов следующие значения погрешностей отсчета уровня ртутного манометра:

- по миллиметровой шкале — ± 1 мм;
- по зеркальной шкале — $\pm 0,2$ — $0,3$ мм;
- с помощью нониусного устройства — $\pm 0,05$ — $0,1$ мм;
- катетометром — $\pm 0,2$ мм;
- интерференционным методом — $\pm 10^{-5}$ мм.

При отсчете измеряемого уровня давления необходимо учитывать свойства рабочих жидкостей, у которых угол смачиваемости ξ различен (рис. 3.4). Так, при использовании высокосмачиваемых жидкостей, например воды, спирта, отсчет рекомендуется вести по вогнутой части мениска, а при применении несмачиваемых жидкостей, таких как ртуть, — по выпуклой его части на оси трубки. Кроме этого, смачиваемость и текучесть жидкости предопределяют минимальный диаметр используемых трубок. При применении спирта в качестве рабочей жидкости рекомендуется минимальный внутренний диаметр стеклянных трубок 5 мм, для ртути — 8 мм, для воды — 15 мм.

При использовании ртути в качестве рабочей жидкости, особенно при точных измерениях, когда в чашечных манометрах применяются капилляры и сечения широкого сосуда и капилляра существенно различаются, может наблюдаться эффект капиллярной депрессии. Сущность этого эффекта состоит в различии уровней несмачиваемой жидкости в сообщающихся капилляре и широком сосуде при воздействии одного и того же давления на поверхности жидкостей в этих объемах.

В промышленных условиях, как следует из приведенного выше материала, требуется тщательный контроль применяемых в жидкостных

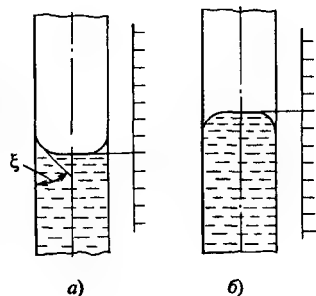


Рис. 3.4. Вид менисков различных жидкостей:

а — смачивающей, б — несмачивающей

манометрах стеклянных трубок, так как их внутренний диаметр на практике может колебаться от 8 до 12 мм, что вносит существенные погрешности в результаты измерений.

По данным разных специалистов [25], без дополнительных оптических приспособлений погрешность показаний стеклянных жидкостных манометров принимается в лучшем случае равной ± 1 мм. При использовании U-образных жидкостных манометрических приборов отсчет двух уровней (на каждой трубке) приводит к погрешности измерений ± 2 мм при температуре окружающей среды 20 ± 5 °С. Верхние пределы измерений для стеклянных жидкостных манометров составляют 100, 160, 250, 400, 600 и 1000 мм. Соответственно при одной и той же погрешности отсчета высоты столба жидкости класс точности жидкостного прибора колеблется от 2 до 0,2.

Для обеспечения корректности измерений обязательной является очистка внутренних поверхностей стеклянных трубок от пыли и грязи. С этой целью стеклянные жидкостные манометры вначале промывают насыщенным раствором двуххромовокислого калия (хромпика) в серной кислоте, а затем — спиртом и водой.

3.2. Чашечные манометрические приборы

Чашечные (однотрубные) манометрические приборы по принципу действия идентичны двухтрубным мановакуумметрам с тем отличием, что одна трубка заменена широким резервуаром, поперечная площадь которого значительно (в 500—700 раз) превышает площадь сечения другой трубки. Для такого устройства высотой столба h_2 во второй трубке, в данном случае — в резервуаре, в (3.7) можно пренебречь. Тогда это выражение приобретает следующий вид:

$$h = h_1, \quad (3.8)$$

где h_1 — уровень жидкости в трубке.

Таким образом, отсчет измеряемого давления производится по одной шкале — одной трубке, вторая величина из-за ее малости исключается. Ведь h_1 превосходит h_2 во столько раз, во сколько, исходя из начальной конструкции, площадь F_2 резервуара превышает площадь F_1 сечения трубки, в 500—700 раз, т.е.

$$h_1/h_2 = F_2/F_1, \quad (3.9)$$

Таким образом, из-за изменения уровня жидкости в резервуаре результирующая погрешность увеличится на $1/500$ — $1/700$ от из-

Рис. 3.5. Схема чашечного (однотрубного) жидкостного измерителя давления:

1 — бачок-резервуар, 2 — стеклянная трубка, 3 — основание, 4 — шкала

меряемой величины h_1 , чем в большинстве случаев пренебрегают.

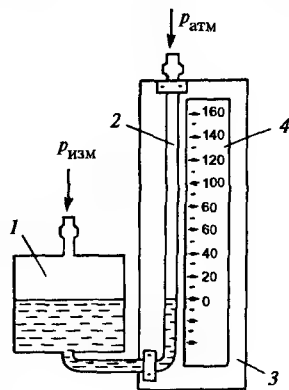
На рис. 3.5 показан вид чашечного (однотрубного) манометрического измерителя, состоящего из бачка-резервуара 1, сообщающейся с ним измерительной стеклянной трубки 2, закрепленной на основании 3 со шкалой 4.

Рабочая жидкость заливается в бачок-резервуар до нулевой отметки на шкале прибора. При измерении избыточного давления $p_{\text{изм}}$ измеряемая среда подается в бачок-резервуар. При работе с вакуумом среду измеряемого давления подводят к стеклянной трубке. Для дифференциального параметра линию «плюсового» давления соединяют с бачком-резервуаром, а «минусовую» — со стеклянной трубкой.

Чашечные манометры при заполнении водой или ртутью могут иметь шкалу, градуированную в миллиметрах. При использовании в качестве рабочей жидкости спирта шкала прибора градуируется в единицах давления.

Жидкостные манометрические приборы могут применяться для измерения статического давления. Величина этого давления в значительной мере определяет конструктивное исполнение прибора. Известны конструкции жидкостных измерителей давления, используемых при статическом избыточном давлении до 15 МПа. В основном жидкостными манометрическими приборами измеряют очень малые (до 0,05—0,1 МПа) и малые (до 0,5 МПа) давления. Для измерения низкого и сверхнизкого давления — напора, тяги — разрежения, дифференциального давления, составляющего несколько десятков миллиметров, вместо U-образных и чашечных приборов применяют микроманометры.

Наиболее распространенным видом измерителей сверхнизких давлений в лабораторных и промышленных условиях являются жидкостные микроманометры с наклонным расположением трубки (рис. 3.6). Бачок-резервуар 1 установлен на платформе 5, к которой жестко прикреплена шкала 4 с установленной на ней стеклянной трубкой. Выход последней для удобства проведения изме-



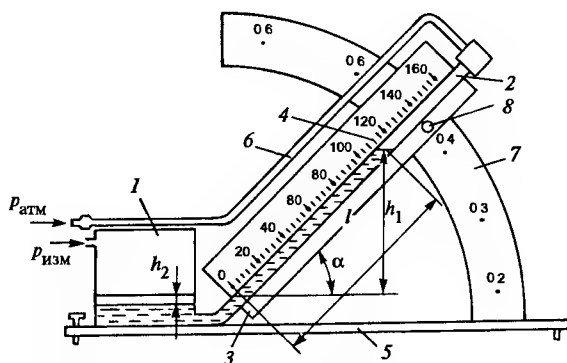


Рис. 3.6. Схема микроманометра:

1 — бачок-резервуар, 2 — стеклянная трубка, 3 — основание;
4 — шкала, 5 — платформа, 6 — дополнительный резиновый
шланг, 7 — наклонный упор, 8 — фиксирующий зажим

рений соединен с бачком-резервуаром с помощью дополнительного резинового шланга 6. Наклонное расположение стеклянной трубки увеличивает протяженность рабочей шкалы при одном и том же диапазоне измерения давления и в результате повышает точность получаемых данных. Причем наклон шкалы может изменяться ее перемещением по наклонному упору 7 с фиксацией зажимом 8.

Измеряемая среда с избыточным давлением $p_{изм}$ подводится к бачку-резервуару. Под ее воздействием рабочая жидкость вытесняется в стеклянную трубку, наклоненную под углом α к горизонтальной плоскости — платформе 5. Жидкость в трубке поднимается на высоту h_1 и опускается в бачке-резервуаре на h_2 . Длина столба жидкости в стеклянной трубке при этом составляет l . Величина перепада жидкости, образуемого под влиянием измеряемого давления, может быть определена выражением

$$h = h_1 + h_2. \quad (3.10)$$

Здесь

$$h_1 = l \sin \alpha. \quad (3.11)$$

При условии $F_2 \gg F_1$ на основании (3.3) измеряемое давление может определяться выражением

$$p_{\text{изм}} = l \sin \alpha \rho_{\text{ж}} g = lk, \quad (3.12)$$

где $k = \rho_{\text{ж}} \sin \alpha g$ — постоянная прибора. В большинстве случаев $\sin \alpha$ называют масштабом микроманометра, значения которого указывают на наклонном упоре прибора для каждого фиксированного угла наклона стеклянной трубки к горизонтальной плоскости.

3.3. Другие конструкции жидкостных манометров

Жидкости в качестве индикатора величины измеряемого давления применяются в манометрических приборах, в которых под воздействием измеряемого давления смещается уровень жидкости, что приводит к перемещению центра тяжести и указательной стрелки. Такие устройства называются кольцевыми.

Кольцевой жидкостный манометрический прибор функционирует на основе смещения под воздействием измеряемого давления центра тяжести столба жидкости, заключенного в кольцевой канал. Подвижность оси этого канала приводит к его повороту, угол которого отражает величину измеряемого давления.

Одна из конструкций кольцевого жидкостного манометра приведена на рис. 3.7, а. Трубка 1, а в некоторых моделях может использоваться цилиндр с двойной стенкой, изготовлена в виде замкнутого кольца с внутренней перегородкой 2, по обе стороны которой имеются входные штуцеры 3. Внутренняя часть кольцевой трубки жестко соединена с перемычкой 4, центр которой установлен на подвижной оси 5. Перпендикулярно перемычке неподвижно закреплен отвес 6, на конце которого для обеспечения устойчивости системы находится груз 7.

Среда измеряемого давления через гибкие эластичные трубки подводится к входным штуцерам (при измерении избыточного давления один входной штуцер соединяется с атмосферой). Под ее воздействием (рис. 3.7, б) рабочая жидкость вытесняется из одной половины кольцевой трубки в другую, образуя при этом разницу уровней рабочей жидкости h . Это приводит к смещению центра тяжести кольцевой трубки и повороту как этой трубки, так и перемычки с отвесом. Угол θ отражает значение разницы давлений

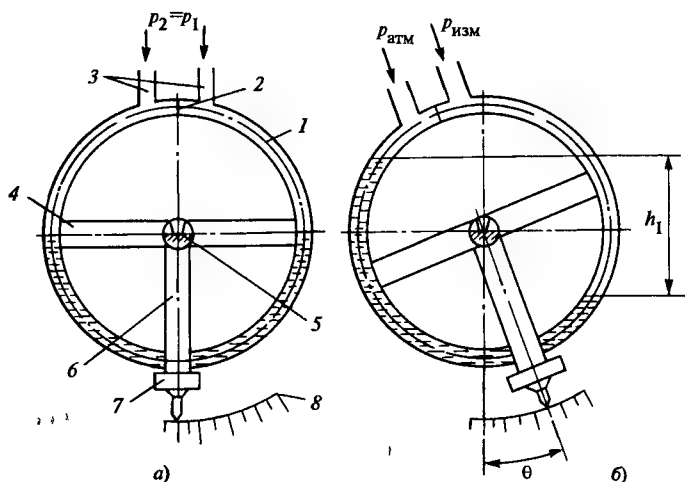


Рис. 3.7. Кольцевой жидкостный манометр:

а — при равновесии подведенных давлений, *б* — в состоянии неравновесия, 1 — кольцевая трубка, 2 — внутренняя перегородка, 3 — входные штуцеры, 4 — перемычка, 5 — подвижная ось, 6 — отвес, 7 — груз, 8 — шкала

во входных штуцерах, и по его величине, считываемой со шкалы 8, определяют измеряемый параметр. Таким образом

$$p_{изм} = c\theta, \quad (3.13)$$

где c — постоянная прибора, которая практически не изменяется при $\theta = 0—30^\circ$.

Груз задает масштаб зависимости угла θ поворота от величины измеряемого давления.

Достоинство кольцевых манометров заключается в независимости их показаний от плотности рабочей жидкости и находящейся над ней газовой среды, а также в отсутствии специальных уплотнений. Однако эти приборы — дорогостоящие в изготовлении, требуют более совершенных технологических решений, сложны их монтаж и обслуживание.

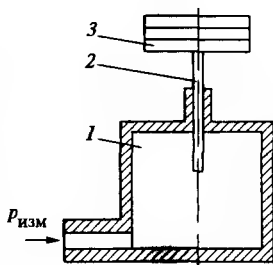
Другой разновидностью жидкостного манометра является устройство, работа которого основана на вытеснении стороннего штока измеряемым давлением и уравнивании положения этого штока дополнительными калиброванными грузами. На рис. 3 8

Рис. 3.8. Манометр жидкостно-поршневой:

1 — камера, 2 — шток, 3 — грузы

показана схема такого прибора. Измеряемая среда давлением $p_{\text{изм}}$ подается в замкнутую камеру 1, заполненную жидкостью, и выталкивает шток 2. При оптимальном подборе массы штока с грузами его выталкивание осуществляется на величину, удобную для контроля и пропорциональную измеряемому давлению

При калиброванной площади торца штока масса грузов, возвращающих этот шток в первоначальное положение, является мерой значения измеряемого давления.



4 СИГНАЛИЗИРУЮЩИЕ МАНОМЕТРЫ

4.1. Общие понятия и принцип действия

Сигнализирующие, часто называемые электроконтактными, манометрические приборы предназначены для измерения технического давления различных сред и дискретного управления электрическими цепями вспомогательных и регулирующих устройств.

Некоторые термины, используемые в этой главе, специфичны для раздела сигнализирующих (электроконтактных) манометров, и их формулировки, согласно ГОСТ 2405-88 [4], приведены ниже.

Сигнализирующее устройство прямого действия — устройство, замыкание и размыкание контактов электрической цепи которого осуществляется без преобразования энергии.

Сигнализирующее устройство непрямого действия — устройство, замыкание и размыкание контактов электрической цепи которого осуществляется за счет преобразования энергии одного вида в другой.

Указатель сигнализирующего устройства — элемент сигнализирующего устройства, положение которого относительно меток шкалы определяет отклонение контролируемого параметра от нормы.

Срабатывание сигнализирующего устройства — действие, заключающееся в замыкании и размыкании электрической цепи.

Уставка — задаваемое значение контролируемого параметра, при котором происходит срабатывание сигнализирующего устройства.

Диапазон уставок — зона контролируемого параметра, в пределах которого можно провести уставку.

Замыкающий (размыкающий) контакт — коммутируемый контакт, замыкающий (размыкающий) электрическую цепь при достижении параметра уставки.

Принципиальные электрические схемы электроконтактных манометров приведены на рис. 4.1.

Типовая схема функционирования электроконтактного манометра может быть проиллюстрирована рис. 4.1, а. При увеличении давления и достижении им определенного значения указательная стрелка 1 с электрическим контактом входит в зону 4 и замыкает с помощью базового контакта 2 электрическую цепь прибора.

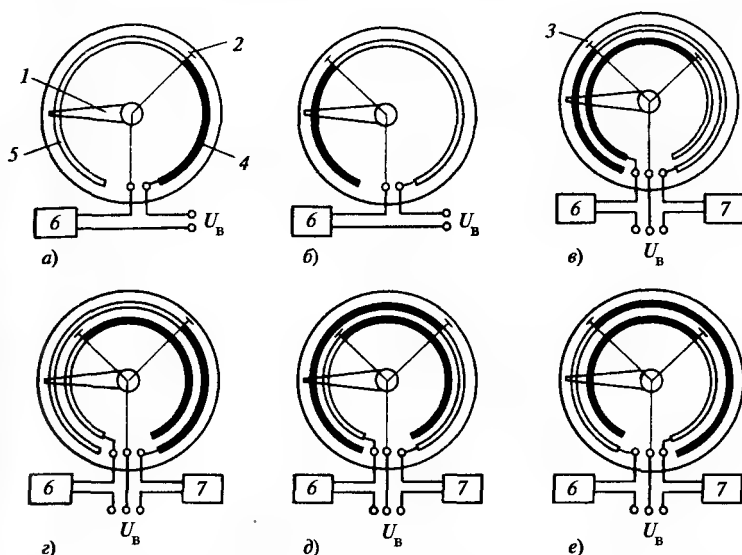


Рис. 4.1. Принципиальные электрические схемы электроконтактных манометров:

а — одноконтактная на замыкание (согласно ГОСТ 2405-88 — исполнение I), *б* — одноконтактная на размыкание (исполнение II), *в* — двухконтактная на размыкание—размыкание (исполнение III), *г* — двухконтактная на замыкание—замыкание (исполнение IV), *д* — двухконтактная на размыкание—замыкание (исполнение V), *е* — двухконтактная на замыкание—размыкание (исполнение VI), *1* — указательная стрелка, *2, 3* — электрические базовые контакты, *4, 5* — зоны замкнутых и разомкнутых контактов соответственно, *6, 7* — объекты воздействия

Замыкание цепи, в свою очередь, приводит к вводу в работу объекта воздействия *б*.

В схеме размыкания (рис. 4.1, *б*) при отсутствии давления электрические контакты указательной стрелки *1* и базового контакта *2* замкнуты. Под напряжением U_B находятся электрическая цепь прибора и объект воздействия. При повышении давления и прохождении стрелкой зоны замкнутых контактов происходит разрыв электрической цепи прибора и соответственно прерывается электрический сигнал, направляемый на объект воздействия.

Наиболее часто в производственных условиях применяются манометры с двухконтактными электрическими схемами: одна ис-

пользуется для звуковой или световой индикации, а вторая — для организации функционирования систем различных типов управления. Так, схема размыкание—замыкание (рис. 4.1, д) позволяет по одному каналу, при достижении определенного давления, разомкнуть одну электрическую цепь и получить сигнал воздействия на объект 7, а по второму — с помощью базового контакта 3 замкнуть находящуюся в разомкнутом состоянии вторую электрическую цепь.

Схема замыкание—размыкание (рис. 4.1, е) позволяет при увеличении давления одну цепь замкнуть, а вторую — разомкнуть.

Двухконтактные схемы на замыкание—замыкание (рис. 4.1, з) и размыкание—размыкание (рис. 4.1, в) обеспечивают при повышении давления и достижении одних и тех же или различных его значений замыкание обеих электрических цепей или соответственно их размыкание.

Электроконтактная часть манометра может быть как неотъемлемой, совмещенной непосредственно с механизмом измерителя, так и присоединяемой в виде электроконтактной группы, устанавливаемой на передней части прибора. Отечественные производители традиционно используют конструкции, в которых тяги электроконтактной группы монтируются на оси трибки. В импортных устройствах, как правило, устанавливается электроконтактная группа, соединенная с чувствительным элементом через указательную стрелку манометра. Некоторые отечественные и зарубежные производители освоили электроконтактный манометр с микровыключателями, которые устанавливаются на передаточном механизме измерителя.

Электроконтактные манометры производятся с механическими контактами, контактами с магнитным поджатием, индуктивной парой, микровыключателями и др.

Электроконтактная группа с механическими контактами конструктивно наиболее проста. На диэлектрическом основании фиксируется базовый контакт, представляющий собой дополнительную стрелку с закрепленным на нем электрическим контактом и соединенным с электрической цепью. Другой разъем электрической цепи связан с контактом, который передвигается указательной стрелкой. Таким образом, при увеличении давления указательная стрелка смещает подвижный контакт до момента его соединения со вторым контактом, закрепленным на дополнительной стрелке. Механические контакты, изготовленные в виде лепестков или стоек, производятся из сплавов серебро—никель (Ag80Ni20), сереб-

ро—палладий (Ag70Pd30), золото—серебро (Au80Ag20), платина—иридий (Pt75Ir25) и др.

Приборы с механическими контактами рассчитаны на напряжение до 250 В и выдерживают максимальную разрывную мощность до 10 Вт постоянного или до 20 В · А переменного тока. Малые разрывные мощности контактов обеспечивают достаточно высокую точность срабатывания (до 0,5 % полного значения шкалы).

Более прочное электрическое соединение обеспечивают контакты с магнитным поджатием. Их отличие от механических состоит в закреплении на обратной стороне контактов (клеем или винтами) малых магнитов, что усиливает прочность механического соединения. Максимальная разрывная мощность контактов с магнитным поджатием составляет до 30 Вт постоянного или до 50 В · А переменного тока и напряжением до 380 В. Из-за наличия магнитов в системе контактов класс точности устройства не ниже 2,5.

Схемы с индуктивными контактами электросигнализирующих манометров основаны на взаимодействии индуктивного блока 2 с плунжером 1 (рис. 4.2). Приборы изготавливают по двум схемам: с внешним плунжером (рис. 4.2, а) и плунжером, расположенным внутри блока (рис. 4.2, б). Электроконтактные устройства на основе индуктивных блоков с внешними плунжерами обеспечивают функционирование электрической цепи при постоянном напряжении 5—25 В и максимальном токе до 3 мА.

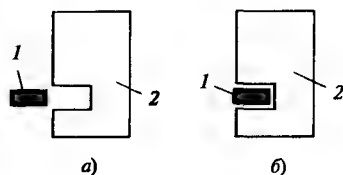
Внутреннее расположение плунжера обеспечивает действие цепи при постоянном токе до 1 мА. Класс точности таких систем не ниже 0,5. Индуктивный блок крепится на дополнительной подвижной опоре — базовом контакте, а роль плунжера выполняют как основная, так и дополнительная стрелки.

В отечественной промышленности электроконтактные манометры с индуктивными блоками используются мало, хотя за рубежом с их помощью контролируются взрывоопасные среды. Они также работоспособны в агрессивных средах.

Манометры с пневматическими контактами аналогичны предыдущим, но вместо индуктивных блоков устанавливаются пневматические датчики, которые под воз-

Рис. 4.2. Схема индуктивных контактов электроконтактного манометра:

а — с внешним плунжером, б — с внутренним плунжером, 1 — плунжер, 2 — индуктивный блок



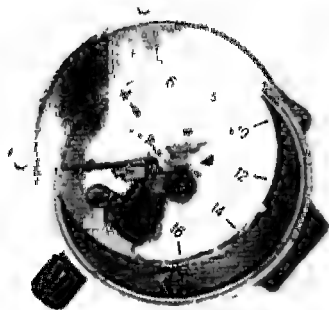
действием плунжера при достижении заданного давления закрывают или открывают пневматическую линию

Наиболее интересны, однако недостаточно распространены электроконтактные манометры с микровыключателями, размыкающими или замыкающими электрическую цепь под действием кулачка, установленного на трибке передаточного механизма манометра. В другой конструкции манометра предусматривается наличие двух независимых передаточных механизмов, один из которых традиционно связан со стрелкой, а другой посредством дополнительной стрелки и системы тяг соединен с микровыключателем. Входы обоих механизмов функционально соединены с чувствительным элементом. Технические характеристики приборов определяются свойствами микровыключателей, контакты которых изготавливаются из чистого серебра (99,9 %), электрическое напряжение составляет до 380 В и рабочий ток до 5 А, т.е. такие приборы могут включаться непосредственно в цепь сигнализации и управления.

Традиционно электроконтактные манометры изготавливаются на базе показывающих приборов с трубчатой пружиной Бурдона или многовитковым чувствительным элементом.

4.2. Промышленные приборы

Наиболее широко известными ранее отечественными манометрами были электроконтактные приборы типа ЭКМ. Электроконтактная группа такого прибора с механическими контактами крепится на шкале измерителя (рис. 4.3). Подвижный контакт соединен с показывающей стрелкой поводком. Базовый контакт, внешне выполненный в виде дополнительных стрелок, на задаваемое значение устанавливают поворотным винтом, который находится на лицевой стороне прибора. Измерительная часть манометра и электроконтактная группа размещены в едином металлическом корпусе, диаметр которого составляет 160 мм.



В настоящее время на базе электроконтактных манометров типа ЭКМ производятся аналогичные устройства ДМ2010 Сг (корпус диаметром 100 мм) и ДМ2005 Сг (кор-

Рис. 4.3. Электроконтактный манометр типа ЭКМ

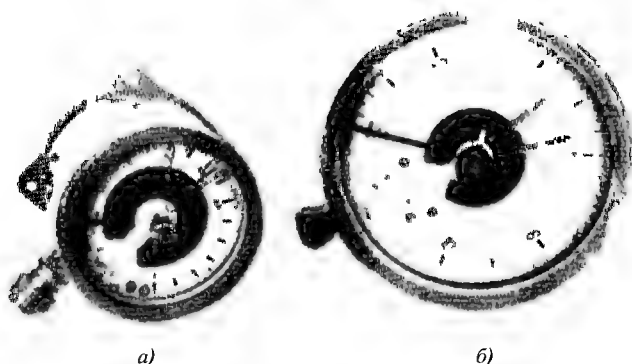


Рис. 4.4. Электроконтактные манометры ДМ2010 (а) и ДМ2005 (б)

пус диаметром 160 мм) (рис. 4.4). Электросигнализирующие вакуумметры обозначаются ДВ, мановакуумметры — ДА.

Электроконтактная группа в таких манометрических приборах выполняется как механическая (иногда ее называют группой со скользящими контактами), так и с магнитным поджатием контактов. Электрические схемы в этих устройствах могут быть нескольких вариантов. Базовой является схема VI (согласно ГОСТ 2405-88 [4]) с одним замыкающим и одним размыкающим контактами (см рис. 4.1) Могут также быть другие варианты: III — оба контакта размыкающие, IV — оба контакта замыкающие; V — один контакт размыкающий, другой — замыкающий. Разрывная мощность механических контактов — 10 Вт постоянного и 20 В · А переменного токов, а в устройстве с магнитным поджатием — 30 Вт постоянного и 50 В · А переменного токов. Значения коммутируемого тока могут изменяться от 0,01 до 1 А

Диапазон показаний манометров соответствует данным из табл. 1.6. Погрешность показаний давления регламентируется классом точности 1,5, а предел допускаемой основной погрешности срабатывания электрической схемы в диапазоне от 5 до 75 % шкалы избыточного давления и от 0 до 95 % для вакуумметрического с механическими контактами достигает 2,5 % диапазона показаний, а при контактах с магнитным поджатием в ДМ2005 Сг равняется 4 %, в ДМ2010 Сг — 6 %.

Напряжение внешних коммутирующих цепей постоянного тока может составлять 24, 27, 36, 40, 110 и 220 В. В цепях переменного тока приборы обеспечивают работоспособность при 380 В.

Конструктивно приборы этого типа изготавливаются только с радиальным присоединительным штуцером.

На базе приборов ДМ2005 Сг производились электроконтактные взрывозащищенные манометры ВЭ-16Р6, отличающиеся наличием взрывонепроницаемой оболочки. В настоящее время такие устройства маркируются как ДМ2005 Сг I Ex. Взрывонепроницаемая оболочка выдерживает давление взрыва внутри корпуса и исключает передачу в окружающую взрывоопасную среду. Взрывонепроницаемость оболочки достигается «щелевым» сопряжением деталей корпуса с соблюдением размеров лабиринтных уплотнений, низкой шероховатостью поверхностей сопрягаемых деталей. Прочность оболочки должна проверяться при изготовлении избыточным давлением. Маркировка по взрывозащите соответствует IExdIIBT4. Общие требования по взрывобезопасности приведены в ГОСТ Р 51330.0-99.

Разрывная мощность электроконтактного устройства у взрывозащищенных манометров составляет 10 В · А, при коммутирующем токе – до 1 А.

В некоторых конструкциях отечественных и зарубежных манометров электроконтактная группа выполняется в виде приставки, изготовленной в прозрачной оболочке и установленной на передней панели измерительного прибора (рис. 4.5). В Российской Федерации производится весь спектр таких электрических схем (см. рис. 4.1). В приборах применяются механические и с магнитным поджатием контакты. Разрывная мощность составляет для механических контактов 10 Вт (В · А), с магнитным поджатием — до 30 Вт (В · А), и соответственно погрешность срабатывания этих контактов достигает 3 и 6 %. Электроконтактные приставки выпускаются для манометров диаметрами корпусов 160 и 100 мм. Изготавливаются также манометры с электроконтактными группами, размещенными в корпусе диаметром 63 мм. Конструкции и технические ха-

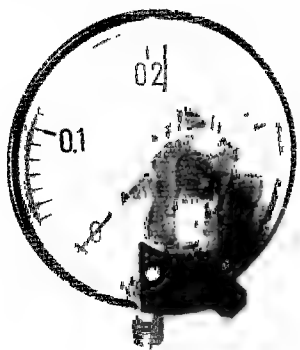


Рис. 4.5. Манометр с электроконтактной приставкой



Рис. 4.6. Передаточные механизмы электроконтактного манометра с микро-
выключателями

характеристики приборов с механическими контактами и с магнитным поджатием практически идентичны.

Особый интерес могут вызывать электроконтактные манометры на базе микровыключателей. Вид передаточных механизмов манометра с электрическими микровыключателями приведен на рис. 4.6. В устройствах такого типа микровыключатели устанавливаются на дополнительных секторах, оси которых являются также осями передаточного механизма манометра. Эти секторы с зубчатым зацеплением функционируют в комплекте с ответными трибками, выполненными в виде трубчатого элемента и насаженными на ось основной трибки. Такие трибки снабжены стрелками, отображающими положение дополнительных секторов и соответствующее расположение микровыключателей и кулачков, фиксированных на оси секторов. Стрелки показывают на шкале прибора давление, при котором замыкаются-размыкаются контакты электрической схемы. Микровыключатели функционируют при напряжении до 380 В с коммутирующим током до 5 А, а в отдельных конструкциях — до 10 А. Погрешность срабатывания электрической схемы составляет 1,5—5 % диапазона измерения.

Электроконтактные манометры с микровыключателями отличаются от других высокой надежностью, хорошими характеристиками электроконтактной группы и компактностью (рис. 4.7).

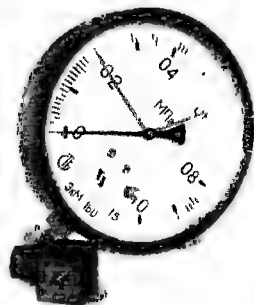


Рис. 4.7. Электроконтактный манометр с микро-
выключателями

5 ПРИБОРЫ С ЭЛЕКТРИЧЕСКИМ ВЫХОДНЫМ СИГНАЛОМ

Функционирование современных систем на основе микропроцессорной техники, организация сигнала по измеряемому давлению, автоматизация технологических процессов, включая системы аварийной защиты, требуют измерительных преобразователей с унифицированным электрическим сигналом в виде тока, напряжения, частоты.

За последние десятилетия конструкции измерительных преобразователей давления, разрежения и разности давлений с электрическим выходным сигналом претерпели существенные изменения. Многие типы приборов безвозвратно ушли в историю. В настоящее время освоены модели устройств, базирующиеся на новых принципах работы, а также системах преобразования и передачи сигналов, и имеющие более высокие метрологические и качественные технические характеристики, новые функциональные возможности.

Измерительный преобразователь, согласно РМГ 29-99 [6], — это техническое средство с нормативными метрологическими характеристиками, служащее для преобразования измеряемой величины в другую величину или измерительный сигнал, удобный для обработки, хранения, дальнейших преобразований, индикации или передачи.

Часто измерительные преобразователи называют датчиками. *Датчик* — это конструктивно обособленный первичный преобразователь, от которого поступают измерительные сигналы (он «дает» информацию [6]).

Измерительный преобразователь может быть представлен как система, состоящая из первичного измерительного преобразователя — чувствительного элемента 1 (рис. 5.1) и блока усиления 2. Чувствительный элемент, как и в манометрах с тензорезисторными, емкостными или пьезоэлектрическими сенсорами, трансформирует воздействующее на него давление в электрический выход-

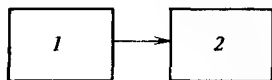


Рис. 5.1. Принципиальная схема электропреобразовательного прибора:

1 — чувствительный элемент; 2 — блок усиления

ной сигнал. Как правило, электрический выходной сигнал на выходе чувствительного элемента — первичного измерительного преобразователя — не превышает нескольких сот милливольт.

Блок усиления на основе выходного сигнала чувствительного элемента формирует унифицированный электрический сигнал, пригодный для управления системами автоматического регулирования, сигнализации и регистрации.

В других типах манометрических приборов (например, в приборах с индуктивными преобразователями) измеряемое давление трансформируется в линейное перемещение плунжера, которое, в свою очередь, преобразуется в электрический выходной сигнал. В этом случае блок усиления также предварительно преобразует неэлектрический параметр в электрический.

Чувствительный элемент часто называемый «сенсором» (англ. sensor), определяет в основном технические характеристики измерительного преобразователя. В свою очередь, на технические характеристики сенсора, включая чувствительность, величину гистерезиса, нелинейность основной зависимости, оказывают влияние заложенный принцип преобразования, уровень использованных технологий и материалов, культура его производства.

Выходные сигналы измерительных преобразователей давления, разрежения и разности давлений предназначены для автоматизации процесса измерения: связи с вторичными приборами, регуляторами, сигнализаторами и машинами централизованного и индивидуального контроля.

Согласно ГОСТ 22520-85 [26] выходными сигналами с измерительных преобразователей могут быть:

- токовые сигналы и сигналы напряжения постоянного тока: 0—5; 0—20; 4—20 мА; 0—10; 0—5; 0—1 В (ГОСТ 26.011-80);
- сигналы напряжения переменного тока (ГОСТ 26.011-80);
- частотные сигналы (ГОСТ 26.010-80).

По изменениям, внесенным в ГОСТ 26.011-80 в 1991 г., применение сигнала 0—20 мА не рекомендуется.

Наибольшее распространение в последние годы получили приборы с токовым сигналом 4—20 мА, хотя ранее достаточно широко применялись токовые сигналы 0—5 и 0—20 мА. Расширение использования таких сигналов было затруднено сложностью контроля точки «нуль», которая в ряде измерительных схем могла быть как начальной точкой рабочего диапазона преобразования, так и обрывом или коротким замыканием цепи.

Кроме этого, преимущество преобразователей с выходным сигналом 4—20 мА состоит в возможности обеспечения их питанием и контроля выходного сигнала по двухпроводной схеме.

Использование в качестве выходного параметра сигнала 0—5 или 0—20 мА предопределяет достаточно «строгое» отношение к питанию прибора, что объясняется использованием в этих измерительных схемах неуравновешенных мостов. Так, в приборах серии «Сапфир» с такими выходными сигналами источник питания должен иметь выходные характеристики $36 \pm 0,72$ В, в то время как прибор с выходным сигналом 4—20 мА может питаться от источника постоянного тока напряжением от 15 до 42 В.

Унифицированными выходными сигналами могут быть индуктивные, а также иные виды электрических сигналов. В угольной отрасли и некоторых химических производствах используются пневматические унифицированные параметры.

Применение в современных системах управления, контроля и измерения цифровой техники привело к производству измерительных преобразователей, выходным сигналом которых является цифровой код. Его форма и параметры определяются принятыми стандартами. Наибольшее распространение в качестве стандартов получили HART-, PROFIBUS-, FOUNDATION FIELDBUS-протоколы. Конструкции приборов с протоколом HART (Highway NSAddressable Remote Transducer — Адресная шина дистанционного преобразователя) объединены в семейство Smart. Основной вклад в развитие HART-направления положила фирма ROSE-MOUNT Inc., которая разработала современную систему цифровой коммуникации, отличающуюся большим быстродействием.

Измерительные преобразователи давления, разрежения и разности давлений, поддерживающие HART-протокол, активно предлагает компания «Метран». HART-система коммуникации занимает промежуточное положение между аналоговым и цифровым выходами. Реально HART-протокол является цифровым усовершенствованием токовой петли 4—20 мА, и преобразователи с такими системами могут успешно, как свидетельствуют данные компании «Метран», заменять аналоговые и использовать все преимущества цифрового обмена уже в действующих системах. Так, измерительные преобразователи, поддерживающие HART-протокол и обладающие всеми свойствами аналоговых приборов, обеспечивают возможность считывания через собственный индикатор значения измеряемого давления в задаваемых единицах. Эти приборы отличаются повышенной точностью, а также имеют дополнительные

возможности по настройке, диагностике, конфигурированию собственных ресурсов измерителя. Управление такими системами реализуется через персональный компьютер с соответствующим программным обеспечением и HART-модемом или с помощью портативного HART-коммуникатора. На одной паре проводов может устанавливаться до 15 измерительных преобразователей, поддерживающих HART-протокол. Конфигурация такой линии определяется ее длиной, качеством, а также мощностью питания преобразователей.

Номинальная статическая характеристика измерительных преобразователей давления, разрежения и разности давлений с электрическими аналоговыми выходными сигналами должна соответствовать одному из следующих видов [26]:

$$y - y_n = k(x - x_0) \text{ в интервале } y_n \leq y \leq y_b; \quad (5.1)$$

$$y - y_n = a(x - x_0)^{1/2} \text{ в интервале } y_c \leq y \leq y_b, \quad (5.2)$$

где y — текущее значение выходного сигнала датчика; y_n, y_b — соответственно нижнее и верхнее предельные значения выходного сигнала; $y_n - y_b$ — диапазон изменения выходного сигнала; y_c — наименьшее значение выходного сигнала, при котором гарантируется номинальная статическая характеристика; при этом отношение $y_c = (y_c - y_n) / (y_b - y_n) \leq 0,3$ устанавливают в технических условиях на датчики конкретных типов; k, a — коэффициенты пропорциональности, при этом $k > 0$ или $k < 0$ и $a > 0$; x — значение измеряемой величины; x_0 — значение измеряемой величины, при котором расчетное значение $y = y_n$.

Номинальные значения напряжений питания следует выбирать из ряда: 6, 12, 15, 24, 27, 36, 42, 48, 60, 110 и 220 В постоянного или переменного тока (ГОСТ 23366-78). Остальные параметры напряжения питания выбирают по ГОСТ 18953-73.

Пределы допускаемой основной погрешности датчиков, выраженной в процентах от диапазона измерений или верхнего предела измерений, следует принимать из ряда: $\pm 0,1$; $\pm 0,15$; $\pm 0,16$; $\pm 0,2$; $\pm 0,25$; $\pm 0,4$; $\pm 0,5$; $\pm 0,6$; $\pm 1,0$; $\pm 1,5$.

Импортные промышленные приборы могут иметь допускаемую основную погрешность $\pm 0,075$, $\pm 0,07$, $\pm 0,05$, $\pm 0,04$, $\pm 0,02$.

Измерительные преобразователи давления, разрежения и разности давлений кроме основной могут иметь дополнительные погрешности от влияния внешних воздействующих факторов: вибрации, рабочего избыточного давления (для преобразователей разно-

сти давлений), атмосферного давления (для датчиков абсолютного давления), температуры окружающего воздуха, напряжения и частоты тока питания, внешнего магнитного поля, сопротивления нагрузки.

5.1. Чувствительные элементы измерительных преобразователей давления и разрежения с электрическим выходным сигналом

В приборостроении используется множество различных принципов построения чувствительных элементов средств измерения. Однако в производстве измерительных преобразователей давления и разрежения нашли применение лишь некоторые из них.

Тензорезистивный метод построения сенсоров как наиболее известный получил широкое применение у отечественных и зарубежных производителей. Однако нарушение их функционирования при перегрузочном давлении, существенная зависимость показаний прибора от температуры, воздействию которой подвергается сенсор, привели к разработке и промышленному выпуску емкостных датчиков. Датчики такого типа применяются для измерения абсолютного, избыточного и дифференциального давлений. Индуктивные преобразователи производятся отечественными приборостроителями для атомных электростанций.

Большое внимание в книге уделено рассмотрению явления пьезоэффекта, так как ряд компаний в последние годы относит производимые ими приборы, к функционирующим по этому принципу. Информация о пьезоэлектрических измерительных преобразователях объединена в параграфах со сведениями о резонансных, принцип действия которых известен достаточно давно и имевшийся ряд практических приложений в последние годы отдельными производителями выведен на новый уровень. Это позволило предложить потребителям измерительные преобразователи давления и разрежения, по многим показателям превосходящие приборы, выпускаемые конкурентами.

5.1.1. Тензопреобразователи

Относительное изменение электрического сопротивления проводника под воздействием прикладываемого к нему деформирующего усилия положено в основу принципа работы тензорезистивного метода. Выражение, характеризующее действие этого принципа, имеет вид

$$\delta_R = k_R k_\delta \delta, \quad (5.3)$$

где δ_R — относительное изменение электрического сопротивления рабочего элемента тензопреобразователя; k_R — коэффициент тензочувствительности; k_δ — коэффициент задезованности деформации; δ — относительная деформация рабочей части упругого элемента.

Из (5.3) следует, что определяющими в тензометрическом методе измерения являются чувствительность преобразователя и деформационная способность его упругой основы.

Коэффициент тензочувствительности как функция удельного сопротивления и геометрических размеров тензорезистора (при воздействии на него деформации) определяется известной зависимостью

$$k_R = (1 + 2\mu) + \Delta R. \quad (5.4)$$

Здесь μ — коэффициент Пуассона; ΔR — относительное изменение удельного электрического сопротивления под воздействием относительной деформации.

Тензопреобразователи могут выполняться в виде проволоки или фольги. Проволока закрепляется между электроизолированными опорами или фиксируется (наклеивается) на поверхности упругого элемента. Для повышения чувствительности преобразователя проволоку, константановую или выполненную из сплава НМ23ХЮ, размещают в виде серпантинно расположенной решетки, концы которой соединяют с измерителем электрического сопротивления. Тонкая фольга толщиной 4—12 мкм, закрепляемая лаком на поверхности упругого элемента, может также служить чувствительным элементом тензопреобразователя. Однако в таких конструкциях может наблюдаться эффект ползучести, когда при долговременных деформациях металлическая фольга или проволока медленно возвращается к первоначальному ненапряженному состоянию (релаксация напряжений). При повышенных температурах этот эффект усиливается. Кроме того, лак, клей, основа преобразователя могут вызывать появление гистерезиса, как и металлическая фольга, проволока после снятия напряжения не сразу возвращаются к своему первоначальному виду.

Наибольший тензоэффект (максимальная чувствительность) достигается травлением фольги и изготовлением чувствительного элемента в виде решетки (рис. 5.2). На базе 1 плотно фиксируется решетка 2, служащая основной рабочей частью преобразователя. Под действием давления база, а с ней и решетка деформируются. При этом изменяется электрическое сопротивление последней,

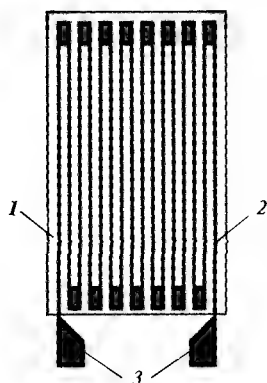


Рис. 5.2. Схема тензопреобразователя:

1 — база, 2 — решетка, 3 — выходы

о чем можно судить по показаниям измерителя сопротивления, подсоединяемого к выходам 3.

Наиболее часто в настоящее время применяются тензорезисторы в виде пленки с нанесенным путем вакуумной возгонки и последующей конденсации на ее поверхности тензочувствительного материала. Подобным образом изготавливаются полупроводниковые кремниевые и германиевые тензорезисторы. На основе кремния могут функционировать две структуры: КНК (кремний на кремнии) и КНС (кремний на сапфире). КНК-структура сложна в реализации из-за несовершенства изоляционных свойств. Наиболее широкое применение, особенно в измерительных преобразователях теплотехнических параметров типа «Сапфир», «Метран», получили КНС-структуры.

Одним из основных недостатков тензорезисторных методов измерения является температурная зависимость, т.е. нестабильность показаний, обусловленных влиянием температуры. Снижения такого влияния можно добиться измерительными схемами, работающими в комплексе с первичным измерительным преобразователем.

Измерительные схемы, наиболее часто применяемые для работы с тензопреобразователями, выполняются в виде управляемого делителя напряжения, или преобразователь включается в измерительный мост. Мостовая схема предпочтительнее, так как она позволяет скомпенсировать различные побочные влияния. Однако в условиях ограниченной площади для установки тензопреобразователя, подверженного влиянию только деформационной составляющей, в качестве измерительной схемы применяют делитель напряжения.

Элементами измерительной мостовой схемы также могут быть несколько дополнительных тензорезисторов и различные вспомогательные элементы. В зависимости от конструкции несколько тензорезисторов включаются последовательно, параллельно или последовательно-параллельно.

В измерительную цепь часто включается дополнительный резистор, изменяющий свое сопротивление под влиянием «паразитного» фактора таким образом, чтобы сохранялся начальный разбаланс измерительной схемы. Так, с помощью включения в измери-

тельную цепь терморезистора, сопротивление которого зависит только от температуры окружающей среды, в схеме учитывается и компенсируется мультипликативная температурная погрешность и на выходе генерируется электрический параметр, являющийся функцией только деформационной составляющей тензопреобразователя.

Коэффициент задеформированности деформации и относительная деформация рабочей части упругого элемента тензопреобразователя (5.3) зависят от конструкции упругого элемента — основы, на которой формируется непосредственно база преобразователя.

В качестве упругих элементов при тензорезисторном методе измерения могут использоваться стержневые, кольцевые, мембранные, балочные конструкции. Однако наиболее часто в практическом приложении манометрии применяются мембраны. Толщина, размер гофров, диаметр — параметры, определяющие эффективность использования мембраны в качестве первичного преобразователя. Более детально варианты применения мембран в качестве чувствительных элементов манометрических приборов рассмотрены в § 2.3.

В теплотехнических приборах наиболее часто применяются тензорезисторы в виде кремниевой пленки, нанесенной на сапфировую монокристаллическую основу (КНС-структура). В традиционном исполнении тензочувствительный элемент для измерительного преобразователя давления с рычажной деформацией конструктивно монтируется в цилиндре диаметром 16 мм и длиной до 35 мм. Процессы деформации чувствительного элемента в таких системах достаточно сложны, и рабочие характеристики во многом зависят от уровня технологии изготовления.

5.1.2. Емкостные преобразователи

Емкостный метод измерения основан на зависимости электрической емкости конденсатора при постоянной площади электродов от расстояния между ними и электрофизических свойств среды, находящейся в межэлектродном пространстве.

Электрическая емкость C , образованная двумя плоскими электродами площадью S с расстоянием между ними h , и заполненная средой с диэлектрической проницаемостью ϵ , определяется следующим выражением:

$$C = \epsilon_0 \epsilon S / h, \quad (5.5)$$

где $\epsilon_0 = 8,854 \cdot 10^{-12}$ Ф/м — электрическая постоянная.

Как следует из выражения (5.5), при жесткой конструкции электродов основными переменными, оказывающими влияние на электрическую емкость конденсатора, являются электрофизические параметры исследуемого вещества, а точнее его диэлектрическая проницаемость.

На основе контроля диэлектрической проницаемости может функционировать большое количество различных высокоточных диагностических систем, включая систему измерения давления. Но для их создания необходимо иметь достоверные сведения об электрофизических свойствах исследуемых веществ. Кроме того, диэлектрическая проницаемость зависит не только от давления, но и от температуры и иных фазовых включений.

Анализ (5.5) показывает, что если в вакууме $\epsilon = 1$, а диэлектрическая проницаемость воздуха близка к единице, то емкостный метод может использоваться, когда от давления будет зависеть расстояние между электродами. Подобные конструкции имеют место, если роль одного или двух электродов выполняют мембраны, изменяющие свою форму под действием давления. Такого типа манометрические устройства подобны по конструкции конденсаторным микрофонам, в которых изменение емкости происходит за счет прогиба диафрагмы (мембраны) под действием измеряемого давления. Емкостные преобразователи давления могут функционировать с использованием растягивающейся диафрагмы (рис. 5.3). Обязательное требование — электроды должны быть проводниками.

Совмещение возможности растяжения и проводимости затрудняет широкое применение такой конструкции. Наиболее распространены преобразователи с заземленной мембраной. Толщина деформируемой мембраны выбирается, исходя из зазора между деформируемым и стационарным электродами, оптимальной для регистрации изменения электрической емкости и предельного прогиба мембраны.

Упоры между электродами изготавливаются из диэлектрического материала, основными требованиями, предъявляемыми к которому, являются: высокая электрическая изоляция

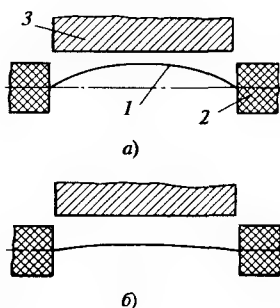


Рис. 5.3. Емкостный преобразователь:

а — с растягивающейся диафрагмой; б — с заземленной мембраной; 1 — мембрана (диафрагма); 2 — упоры, 3 — недеформируемый электрод

и малое температурное объемное расширение. В противном случае изменение температуры может приводить к варьированию показаний измерителя.

Если между обкладками конденсатора находится вакуум или воздух, то для получения результирующего сигнала только по величине измеряемого давления могут применяться несложные измерительные схемы.

Зависимость диэлектрической проницаемости воздуха от температуры очень мала, колеблется в пределах 10^{-5} — 10^{-7} %, и ею можно пренебречь.

Преимуществом емкостного метода является относительная простота конструкций первичных преобразователей. К недостаткам относятся повышенные требования к электрической изоляции, необходимость экранирования соединительных линий, влияние на результат измерения краевых эффектов преобразователя.

5.1.3. Электромагнитные преобразователи

Действие электромагнитных преобразователей зависит от изменения индуктивности L катушки и взаимной индуктивности M двух катушек преобразователя:

$$L = n^2 / R_n; \quad (5.6)$$

$$M = n_1 n_2 / R_n \quad (5.7)$$

где n — количество витков однокатушечного преобразователя; n_1 , n_2 — количество витков в первой и второй катушках при взаимной индуктивности; R_n — магнитное сопротивление.

Выражения (5.6) и (5.7) были использованы в расчетах параметров индуктивных и трансформаторных электромагнитных преобразователей. Здесь L и M зависят от ряда параметров, определяющих магнитное сопротивление R_n . На рис. 5.4, а изображен индуктивный соленоидный преобразователь с ферромагнитным сердечником — плунжером. В такой конструкции ввод в магнитное поле ферритового сердечника существенно изменяет магнитное сопротивление R_n и соответственно значение индуктивности L . Плунжер, изготовленный из ферромагнитного материала, при перемещении в магнитном поле позволяет отслеживать свое положение измерением индуктивности. Максимальное значение индуктивности, как это видно из статической характеристики преобразователя (рис. 5.4, а), достигается при полном вводе плунжера в магнитное

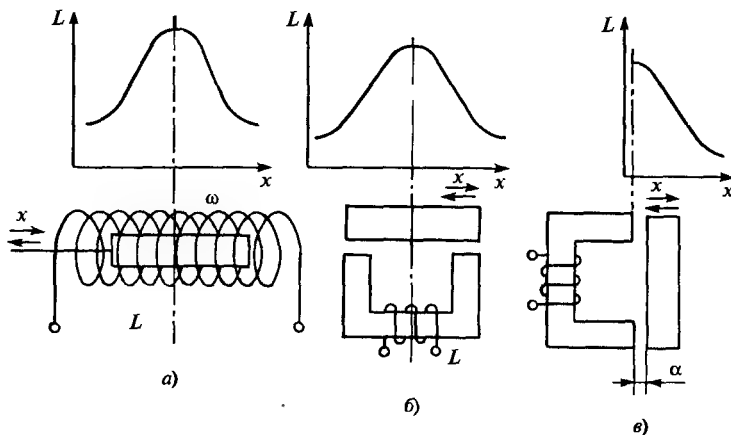


Рис. 5.4. Схемы различных индуктивных преобразователей и их статические характеристики:

а — соленоидный, *б* — сдвиговый, *в* — с изменяющимся воздушным зазором

поле преобразователя. Отклонение положения плунжера в обе стороны имеет симметричную статическую характеристику.

Преобразователи такого типа называются *плунжерными* и применяются для индикации линейных перемещений от 10 до 100 мм.

Разновидностью индуктивного преобразователя является конструкция, в которой обмотки катушки индуктивности расположены на П-образном ферромагнитном сердечнике (рис. 5.4, б). Замыкание магнитного поля ферромагнитным ярком приводит, как это видно из статической характеристики, к росту индуктивности L . Основным рабочим параметром сдвигового типа индуктивного преобразователя служит площадь перекрытия зазора.

Индуктивные преобразователи с изменяющимся зазором (рис. 5.4, в) аналогичны по принципу действия описанным выше. Параметром, оказывающим основное влияние на индуктивность в них, является зазор α между П-образным ферромагнитным сердечником и передвигающимся ферромагнитным ярком. Выбирая минимальный зазор, можно достичь максимальной чувствительности. Недостатком конструкции преобразователя с изменяющимся зазором является нелинейность статической характеристики. Для его устранения используется линейный участок, что приводит к ограниченному применению этих конструкций преобразовате-

Рис. 5.5. Дифференциальная схема индуктивного преобразователя

лей. Наиболее часто преобразователи с изменяющимся зазором используют для индикации линейных перемещений от 0,01 до 10 мм. Повышение чувствительности индуктивных преобразователей, а также устранение «паразитных» влияний, увеличение линейности характеристики достигаются использованием дифференциальной схемы (рис. 5.5). Такие схемы включают две симметричные катушки L_1 и L_2 с ферромагнитными сердечниками и общий якорь, при перемещении которого воздушный зазор одной половины преобразователя уменьшается, а другой — увеличивается. Катушки индуктивности L_1 и L_2 могут включаться в разные плечи мостовой измерительной схемы, и таким образом реализуются значительные преимущества дифференциальной схемы.

Трансформаторные схемы (рис. 5.6) позволяют линеаризировать статическую характеристику и существенно повысить чувст-

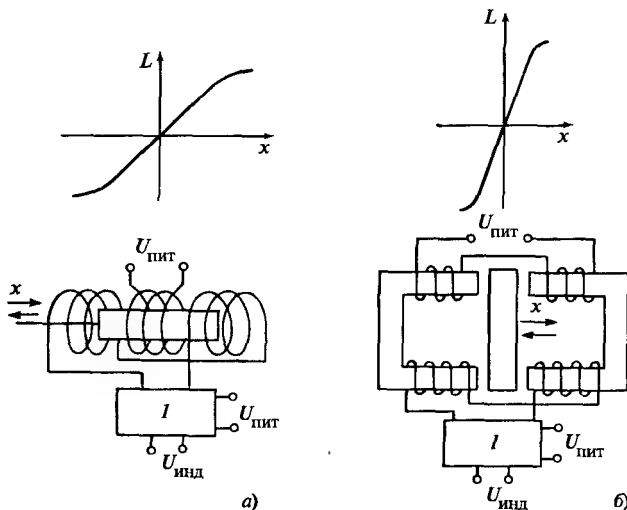
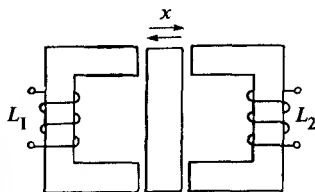


Рис. 5.6. Трансформаторные схемы индуктивных преобразователей:

а — соленоидный вариант, б — на основе П-образного сердечника;

I — фазовый детектор

вительность измерительной конструкции, особенно при дифференциальной схеме. Такие измерительные схемы содержат обмотку, на которую поступает напряжение питания $U_{\text{пит}}$ и обмотки, на выходе которых с помощью фазового детектора I отслеживается смещение фазы. Такое смещение, в свою очередь, зависит от положения якоря в трансформаторной схеме.

Применение индуктивных преобразователей даже средних размеров позволяет получать мощность до 5 Вт, что обеспечивает возможность использования в измерительных схемах малочувствительных указателей. Но при миниатюризации индуктивных элементов возникает необходимость ввода в цепь усилительного звена.

Класс точности индуктивных преобразователей может достигать значений 0,1—0,05. Однако в промышленности наиболее широкое применение получили преобразователи с классом точности 1,5 и выше.

5.1.4. Пьезоэлектрические преобразователи

Пьезоэлектрический эффект (пьезоэффект) наблюдается у отдельных видов кристаллов. При механическом воздействии на эти кристаллы на их поверхности генерируются электрические заряды. Такой пьезоэффект называется *прямым*. Деформация кристалла или текстуры под воздействием электрического поля называется *обратным* пьезоэффектом.

Пьезоэлектрическими свойствами обладают как кристаллические вещества естественного происхождения (например, кварц, турмалин, сегнетова соль), так и материалы искусственного происхождения (цирконат титаната свинца, соединения ниобата свинца, керамики А, Б, 260, ТБ-1, PZT, ЦТС19...28, составы системы $\text{PbTiO}_3\text{—PbZrO}_3$ и др.).

Физическая суть пьезоэлектрического эффекта заключается в совпадении положительных и отрицательных электрических зарядов кристалла в уравновешенном механическом состоянии и появлении поляризации, т.е. расхождении таких центров относительно друг друга при появлении механических напряжений.

Основным параметром, характеризующим пьезоэлектрический преобразователь, является пьезомодуль J , определяемый отношением генерируемого электрического заряда к приложенной силе:

$$J = Q/F = UC/F. \quad (5.8)$$

Здесь Q — генерируемый электрический заряд; F — действующая сила; U — напряжение; C — электрическая емкость.

Из (5.8) следует, что напряжение на выходе преобразователя пропорционально приложенному воздействию, значению пьезомодуля и обратно пропорционально электрической емкости:

$$U = Fj/C. \quad (5.9)$$

Электрическая емкость преобразователя определяется с учетом (5.5) по формуле

$$C = \epsilon \epsilon_0 S/l, \quad (5.10)$$

где ϵ — диэлектрическая проницаемость среды, находящейся в зазоре между обкладками преобразователя; ϵ_0 — электрическая постоянная; S, l — площадь и толщина пьезоэлемента.

Как следует из (5.9) и (5.10), для увеличения выходного сигнала пьезопреобразователя необходимо выбирать материалы с минимальным значением ϵ . Однако из-за существования «паразитных» емкостей, включая емкость кабеля и усилителя, отмеченная закономерность имеет место в режиме холостого хода преобразователя только в отдельных случаях. При работе пьезопреобразователя в измерительном комплексе необходимо учитывать технические параметры последнего. Для работы в расширенном частотном диапазоне при значительных шунтирующих емкостях рекомендуется выбирать материалы с большой диэлектрической проницаемостью.

Пьезоэлектрические преобразователи могут функционировать на следующих деформационных эффектах: растяжение—сжатие по длине или толщине, сдвиг по поверхности, изгиб, объемное воздействие. При этом пьезомодуль зависит как от величины, так и от направления воздействия. Например, для кварца, ЦТС, ЦТБС-1—ЦТБС-3, керамики ТБ-1 наиболее эффективны деформации по толщине и длине; для турмалина, сульфата лития — по толщине и объему; для сегнетовой соли, дигидрофосфата аммония — сдвиг по поверхности и деформация по длине. При этом каждому пьезоэлектрическому материалу свойствен определенный вид деформации, который задает конструкцию датчика.

Одним из основных показателей эффективности пьезопреобразователя, так называемым коэффициентом полезного действия служит квадрат коэффициента электромеханической связи, определяемый выражением

$$k_e^2 = Q_z/Q_m = j^2 E/(\epsilon \epsilon_0). \quad (5.11)$$

Здесь Q_z — энергия механического воздействия; Q_m — энергия, преобразованная в заряд.

Таким образом, эффективность пьезопреобразователя определяется физическими свойствами пьезоматериала: пьезомодулем j , модулем упругости E и диэлектрической проницаемостью ϵ .

Для характеристики пьезоматериалов часто используют также постоянную пьезоматериала

$$g = US/(FI) = j/(\epsilon\epsilon_0). \quad (5.12)$$

Одним из наиболее эффективных пьезоматериалов, если исходить из значения k_e , является сегнетова соль. В зависимости от вида деформации k_e сегнетовой соли изменяется от 0,73 до 0,76, являясь наилучшим показателем для пьезоматериалов. Наихудшие показатели наблюдаются у турмалина ($k_e = 0,10$) и кварца ($k_e = 0,10-0,11$). У сегнетовой соли один из наиболее высоких значений пьезомодуля $j = 275-550 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н и большая диэлектрическая проницаемость $\epsilon = 350$. По данным некоторых авторов, ϵ сегнетовой соли может достигать 6000.

Сегнетова соль служит хорошим пьезопреобразователем и обладает высокой чувствительностью. Но это вещество имеет допустимую температуру использования 45 °С и высокую гигроскопичность, что затрудняет его практическое применение.

Искусственные пьезокерамики отличаются высоким значением пьезомодуля. При деформации по толщине пьезомодуль составляет от 90 до $470 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н. При очень больших значениях диэлектрической проницаемости ($\epsilon = 1000-3000$) и существенных показателях пьезомодуля пьезоэлектрическая постоянная искусственных пьезокерамик, как это следует из (5.12), имеет достаточно малые значения. Эта особенность может успешно использоваться в случаях, когда требуется уменьшение частотной погрешности или сокращение влияния паразитных емкостей измерительной цепи. Однако при работе с пьезокерамиками необходимо учитывать температурные влияния, которые характерны практически для всех основных параметров. Так, в диапазоне температур от -273 до 250 °С диэлектрическая проницаемость керамики PZT-5A изменяется от 400 до 3700, а пьезомодуль — от $20 \cdot 10^{-12}$ до $200 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н. Кроме этого, допустимая температура применения искусственных пьезокерамик ограничена 300 °С, а в ряде случаев 100 °С.

Кварц обладает относительно малыми значениями пьезомодуля ($j = 2,3 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н) и низкой диэлектрической проницаемостью ($\epsilon = 45$). Однако у этого пьезоматериала наблюдаются неплохие температурные зависимости. Так, при увеличении температуры

кварца от -200 до 300 °С диэлектрическая проницаемость ϵ возрастает от 3,7 до 4,2, а пьезомодуль уменьшается от $2,4 \cdot 10^{-12}$ до $2,2 \cdot 10^{-12}$ Кл/Н. Причем отмеченные зависимости имеют линейный вид, что упрощает введение температурных поправок. Допустимая температура применения кварца ограничена 550 °С. При 576 °С, точке Кюри, у кварца отмечается фазовый переход.

Достаточно хорошая стабильность зависимостей электрических параметров при механических воздействиях (погрешность преобразования 10^{-4} — 10^{-6}), относительно неплохие температурные характеристики, близость по своим упругим свойствам к идеальному телу позволили кварцу найти практическое использование.

Существуют различные способы применения пьезоэффекта в измерительных системах. В устройствах измерения переменного или пульсирующего давления наиболее часто используются методы снятия статического напряжения, генерируемого при воздействии на пьезоэлемент механического усилия, и пьезорезонансные, базирующиеся на измерении сопротивления пьезоэлемента или параметра с ним связанного, которые значительно изменяются при резонансных явлениях.

На рис. 5.7 приведены схемы первичных преобразователей на основе генерируемого статического напряжения при механическом воздействии на них. Такие сенсоры могут изготавливаться как из набора пластин (рис. 5.7, а), так и в виде цельного цилиндра (рис. 5.7, б). Чувствительный элемент в виде набора пьезопластин 1 или пьезоцилиндра 2 устанавливается в прочном металлическом

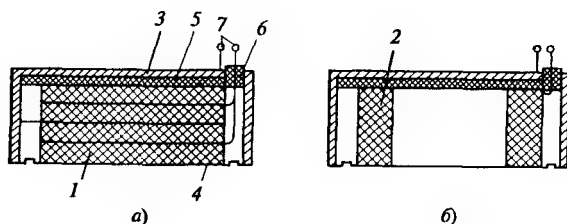


Рис. 5.7. Схемы первичных преобразователей статического напряжения:

а — с пластинчатым набором, б — с цельным пьезоэлементом, 1 — пьезопластина, 2 — пьезоцилиндр, 3 — металлический корпус; 4 — мембрана, 5 — диэлектрическая прокладка; 6 — электроввод, 7 — выводы

корпусе 3, на одной стороне которого фиксируется мембрана 4. Пьезоэлемент с одной стороны имеет непосредственный электрический контакт с металлической мембраной, а с другой — электрически изолирован от корпуса диэлектрической прокладкой 5. В результате при механическом воздействии на упругую металлическую мембрану на противоположных сторонах пьезоэлемента генерируется электрическое напряжение, выводимое за пределы корпуса электровводом 6 и снимаемое с выводов 7.

Пьезоэффект на основе статического напряжения при практическом использовании обладает малой электрической мощностью, что обуславливает применение усилителей с большим входным сопротивлением. Кроме того, малые статические заряды, генерируемые на поверхностях пластин при воздействии давления, из-за токов утечки не устойчивы, что предопределяет применение таких устройств в основном в системах контроля динамических процессов.

Достаточно перспективные модели измерительных преобразователей давления и разрежения на основе пьезорезонансных методов разработаны в последние годы. Резонансные явления в рабочем пьезоэлементе возникают в результате установления в нем стоячих ультразвуковых волн. При скорости распространения звука v и частоте излучения f длина ультразвуковой волны в пьезоэлементе может определяться выражением

$$\lambda = v/f. \quad (5.13)$$

Если принять скорость распространения ультразвука в упругом элементе

$$v = (E_y/\rho_n)^{1/2}, \quad (5.14)$$

где E_y — модуль упругости; ρ_n — плотность материала пьезоэлемента, то длину волны в нем, используя выражение (5.13), можно представить в следующем виде:

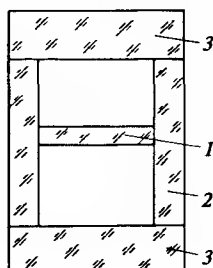
$$\lambda = (E_y/\rho_n)^{1/2}/f. \quad (5.15)$$

Таким образом, при постоянных модуле упругости материала E_y и частоте воздействующего излучения f величиной, определяющей длину волны λ , является плотность пьезоэлемента ρ_n . Соответственно если измеряемое давление изменяет плотность пьезоэлемента, то длина ультразвуковой волны в нем определяет значение этого воздействующего давления. На этом принципе основана работа цилиндрического кварцевого пьезорезонатора (рис. 5.8). Основой сенсорного блока преобразователя служит линзовый ре-

Рис. 5.8. Вид цилиндрического кварцевого пьезорезонатора в разрезе:

1 — перемычка, 2 — кварцевый блок, 3 — крышка

зонатор, изготовленный в виде перемычки 1, установленной в кварцевом блоке 2. Герметизация этого участка осуществляется крышками 3, выполненными также из кварца. Весь блок пьезорезонатора размещается в полости, заполненной жидкостью, на которую через разделительную мембрану передается воздействие измеряемого давления. Это приводит к всестороннему сжатию корпуса и плоскому сжатию перемычки, что отображается на ультразвуковом поле рабочего тела.



5.2. Преобразователи абсолютного, избыточного давлений и разрежения.

Промышленные приборы

ГОСТ 22520-85 [26] регламентирует верхние пределы измерений или диапазоны измерений для преобразователей.

Разрежения:

0,06; 0,063; 0,10; 0,16; 0,25; 0,40; 0,60; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 60; 63; 100 кПа.

Избыточного давления:

0,06; 0,063; 0,10; 0,16; 0,25; 0,40; 0,60; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 60; 63; 100; 160; 250; 400; 600; 630 кПа.

1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 60; 63; 100; 160; 250; 400; 600; 630; 1000 МПа.

Абсолютного давления:

1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 60; 63; 100; 160; 250; 400; 600; 630 кПа.

1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 6,3; 10; 16 МПа.

ГОСТ 22520-85 регламентирует верхние пределы измерений преобразователей избыточного давления-разрежения.

С одинаковыми по абсолютному значению пределами:

0,05; 0,08; 0,125; 0,2; 0,3; 0,315; 0,5; 0,8; 1,25; 2,0; 3,0; 3,15; 5,0; 8,0; 12,5; 20,0; 30,0; 31,5; 50,0 кПа.

С различающимися по абсолютному значению верхними пределами:

60; 150; 300; 500; 530; 900 кПа; 1,5; 2,4 МПа, верхний предел измерения разрежения должен при этом соответствовать 100 кПа.

5.2.1. Тензометрические преобразователи

Одними из наиболее распространенных измерительных преобразователей давления являются приборы серии «Сапфир». В них применяются первичные тензометрические преобразователи в виде пластины из монокристаллического сапфира, прочно соединенной с металлической мембраной. На сапфировой мембране размещены кремниевые пленочные тензорезисторы (КНС-структура).

В приборах «Сапфир-22ДИ» и «Сапфир-22ДИВ» моделей 2150, 2160, 2170 и 2350 в качестве основы используется измерительный блок с защитной мембраной (рис. 5.9, *а*). Тензопреобразователь 1 наносится методом напыления на сапфировую мембрану, которая монтируется в блоке, установленном в корпусе 2. Металлическая гофрированная мембрана 3 приваривается по наружному контуру к корпусу и образует внутреннюю замкнутую полость 4, заполняемую полиметилсилоксановой, наиболее часто называемой кремнийорганической, жидкостью. Пространство над тензопреобразователем сообщается с окружающей средой. Штуцер с крышкой 5 предназначен для подвода измеряемой среды.

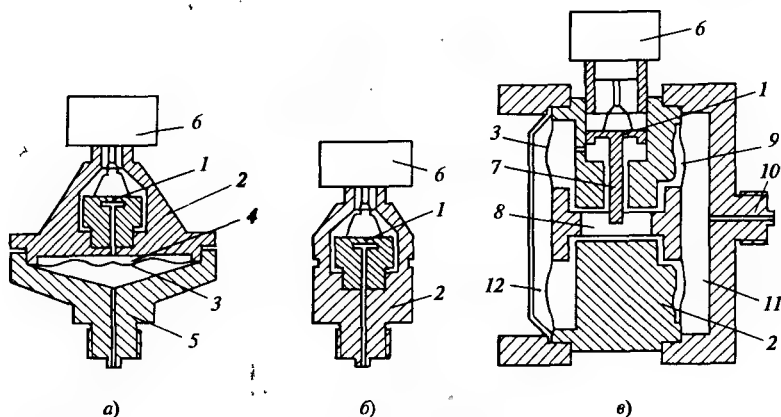


Рис. 5.9. Схемы блокии преобразования приборов серии «Сапфир-22»:

а — с защитной мембраной; *б* — без мембраны; *в* — с мембранными блоками; 1 — тензопреобразователь; 2 — корпус; 3 — металлическая гофрированная мембрана; 4 — полость; 5 — штуцер с крышкой; 6 — электронный блок; 7 — рычаг; 8 — шток; 9 — входная металлическая гофрированная мембрана; 10 — подводящий штуцер; 11 — полость измеряемого давления; 12 — камера

Измеряемое давление через подводящий штуцер с крышкой действует на гофрированную мембрану и через кремнийорганическую жидкость передается на сапфировую мембрану и тензопреобразователь. Под влиянием давления эта мембрана прогибается, подвергается растяжению или сжатию отдельные участки тензосистемы, что вызывает изменение сопротивления тензорезистора, отслеживаемое электронным измерительным блоком 6.

Преобразователи «Сапфир-22ДА» моделей 2050 и 2060 отличаются от описанных выше тем, что полость над тензопреобразователем вакуумируется и герметизируется. Этим обеспечивается измерение абсолютного давления.

В моделях 2151, 2161, 2171 применяются измерительные блоки, конструкция которых представлена на рис. 5.9, б. В них роль подводящего штуцера выполняет корпус 2. Измеряемая среда подводится непосредственно к сапфировой мембране с тензопреобразователем 1. Полость над преобразователем в этих моделях соединена с окружающей средой или, как в моделях «Сапфир-22ДА» 2051 и 2061, вакуумируется и герметизируется. Эти модели предназначены для измерения средних и высоких давлений (0,4—100 МПа).

Для измерения малых давлений (2,5—250 кПа) применяются измерительные блоки с упругими чувствительными элементами (рис. 5.9, в). Сапфировая мембрана с тензопреобразователем 1 установлена в корпусе 2 и нижней плоскостью жестко соединена с рычагом 7, который другим своим концом неподвижно закреплен на штоке 8. Этот шток связывает между собой жесткие центры мембран 3 и 9, которые по наружному контуру герметично приварены к корпусу и образуют закрытый контур. Этот контур, как и пространство камеры 12, вакуумирован и обеспечивает герметизацию. Корпус в месте установки мембраны изготовлен с профилем, идентичным ее профилю, что позволяет при превышении максимально допустимого давления «складываться» мембране с корпусом и таким образом обеспечивать сохранность ее профиля при превышении предельно допустимых нагрузок.

Измеряемое давление через подводящий штуцер 10 поступает в полость 11 и воздействует на мембрану. Это приводит к прогибу последней и соответственно к смещению ее жесткого центра, а также перемещению рычага. Прогиб сапфировой мембраны и изменение сопротивления тензопреобразователя отслеживаются электронным блоком 6.

В некоторых конструкциях приборов серии «Сапфир», предназначенных для измерения давления, подводящий штуцер изготов-

ляется в виде фланца с «открытой» мембраной для монтажа непосредственно на технологической емкости.

При пользовании приборами серии «Сапфир», как, впрочем, и большинством современных измерительных преобразователей давления и разности давлений, возможно достаточно легко пере-страивать рабочий диапазон. В отдельных устройствах могут изменяться верхний и нижний пределы преобразования на следующие по измерительному ряду значения (выше или ниже) или на любую стандартизованную величину в рамках значений, приемлемых для данной модели (в соотношениях от 1:4 до 1:6).

К недостаткам приборов этой серии относятся: недостаточная температурная устойчивость рабочей характеристики, временная нестабильность «нуля».

Тензометрические сенсоры применяются также в датчиках давления «Сапфир», «МТ 100» и манопреобразователях ряда других известных фирм.

Компания «Метран» провела дополнительные исследования тензометрического принципа измерения и предложила более совершенный чувствительный элемент в виде диска диаметром приблизительно 30 мм и толщиной до 3 мм.

Этой компанией выпускаются измерительные преобразователи для измерения разности давлений, а также для избыточного и абсолютного давления. Более высокие технологии изготовления чувствительного элемента и совершенные измерительные схемы позволили снизить температурную погрешность приборов «Метран» с 0,2—0,25 % на 10 °С (традиционная для отечественных приборов температурная нестабильность) до 0,09 %. Совершенствование измерительных схем обеспечило возможность перенастройки рабочих диапазонов в отношениях до 1:25. Работа измерительных преобразователей типа ДМ5007 также строится на одном из наиболее распространенных принципов — тензорезистивном. Парно тензорезистивные чувствительные элементы размещены в двух автономных замкнутых контурах первичного блока, заполненных жидкостью ПЭС-2. Через разделительное устройство (пассивную коррозионно-стойкую мембрану) один контур сообщается с окружающей средой, другой — с измеряемым давлением. Оба контура имеют идентичные электровводы в зону измеряемого давления, а также одинаковые конструкции, что позволяет включать пары тензорезисторных чувствительных элементов в мостовую измерительную схему. Таким образом, одно плечо схемы генерирует сигнал по давлению и температуре окружающей среды, а также другим

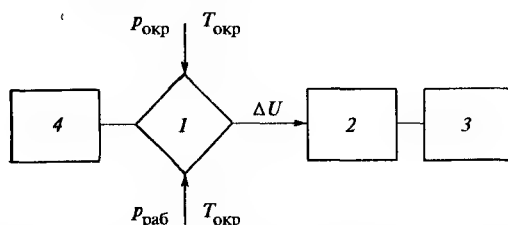


Рис. 5.10. Принципиальная структурная схема измерительного преобразователя ДМ5007:

1 — измерительный тензомост, 2 — усилитель напряжения рассогласования, 3 — преобразователь, 4 — стабилизатор напряжения

«паразитным» параметрам, другое — позволяет получать сигнал, зависящий от всех упомянутых факторов, включая измеряемое давление. Разность в значениях полученных сигналов свидетельствует о значениях измеряемого давления.

Принципиальная структурная схема работы измерительного преобразователя ДМ5007 изображена на рис. 5.10.

На одно плечо измерительного моста 1 с помощью чувствительного элемента поступает сигнал по давлению рабочей среды $P_{\text{раб}}$. Второе плечо моста генерирует сигнал по давлению окружающей среды $P_{\text{окр}}$. Сигналы по температуре окружающей среды $T_{\text{окр}}$, а также сигналы других возможных «паразитных» факторов автоматически компенсируются в мостовой схеме измерения. В результате на выходе моста формируется сигнал напряжения рассогласования ΔU , связанного с измеряемым давлением $P_{\text{раб}}$. Этот сигнал усиливается в блоке 2 и преобразуется в унифицированный параметр в блоке 3. Работа мостовой измерительной схемы и функциональных блоков обеспечивается питанием от стабилизатора напряжения 4.

Диапазоны измеряемого давления прибора ДМ5007 — стандартные до максимального значения 160 МПа. Классы точности — 0,25; 0,5; 1,0.

Многие современные предприятия освоили производство тензометрических измерительных преобразователей, которые получили широкое применение в различных отраслях промышленности. Так, на основе гетерозитаксиальных кремниевых резисторов функционируют измерительные преобразователи «МИДА»

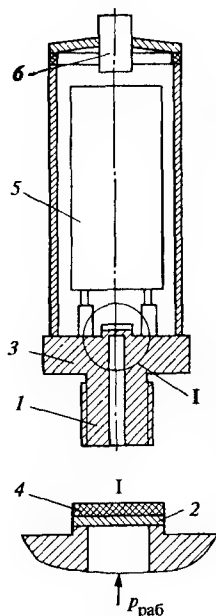


Рис. 5.11. Измерительный преобразователь «МИДА»:

1 — подводящий штуцер, 2 — металлическая мембрана; 3 — основание, 4 — чувствительный элемент; 5 — плата, 6 — разъем

(рис. 5.11), малогабаритные, при допускаемой основной погрешности от $\pm 0,25$ до $\pm 1,0$.

Измеряемая среда давлением $P_{\text{раб}}$ через подводящий штуцер 1 поступает в рабочую полость преобразователя и воздействует на металлическую мембрану 2, сваренную с основанием 3. На внешней стороне мембраны установлен чувствительный элемент 4, представляющий собой монокристаллическую сапфировую подложку, на поверхности которой сформированы гетерозитаксиальные кремниевые резисторы, включенные в тензочувствительную мостовую схему. Измерительная схема, как и элементы настройки, размещена на плате 5.

Подвод питания и съем электрического выходного сигнала производятся через разъем 6.

Таким образом, среда измеряемого давления подводится к разделительной металлической мембране, вызывает ее прогиб, что приводит к деформации сапфирового основания чувствительного элемента и разбалансу тензочувствительного моста. Эти изменения отслеживаются измерительной схемой. Измерительные преобразователи «МИДА» имеют рабочий диапазон от 0,04 до 160 МПа.

5.2.2. Преобразователи с емкостными сенсорами

На емкостном принципе основана работа приборов некоторых ведущих производителей измерительных преобразователей, таких как FISHER-ROSEMOUNT, FUJI. Эти устройства уникальны по своим техническим характеристикам, но имеют достаточно высокую стоимость. Поэтому они мало используются при измерении избыточного давления, но широко — при измерении разности давлений.

Наибольшее применение получили измерительные преобразователи с емкостными сенсорами компании ROSEMOUNT Inc. Одной из наиболее известных конструкций сенсоров этой фирмы является дельта-ячейка, принципиальная схема которой показана на

Рис. 5.12. Принципиальная схема емкостной дельта-ячейки фирмы ROSEMOUNT:

1 — сенсорная мембрана; 2, 3 — обкладки автономных емкостных ячеек, 4 — твердый компаунд-диэлектрик, 5 — корпус. 6, 7 — разделительные мембраны; 8, 9, 10 — электрические выводы конденсаторов

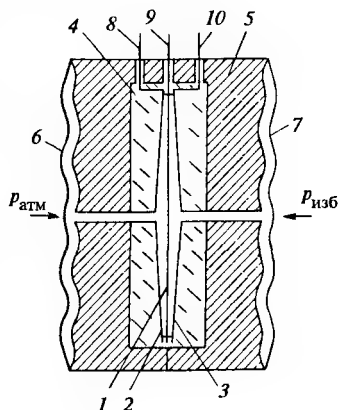


рис. 5.12. Сенсорная мембрана 1 и обкладки 2, 3 образуют электрические конденсаторы, заполненные снаружи затвердевающим компаундом-диэлектриком 4. Образовавшийся блок установлен в металлическом корпусе 5, состоящем из двух частей. В целях исключения влияния

внешних механических воздействий на показания ячейки они сварены между собой герметичным швом. Внутренние полости электрических конденсаторов соединены с соответствующими полостями внешнего воздействия, образованными разделительными мембранами 6, 7 и корпусом. Эти полости образуют между собой герметичные сосуды, заполняемые различными жидкими средами, такими как водные растворы глицерина, пропилен гликоля, силиконовое масло, жидкости типа Syltherm, Neobee.

Электрические выводы 8, 9 и 10 соединены с соответствующими обкладками двух электрических конденсаторов и сенсорной мембраной, выполняющей роль общего электрода. Измеряемое давление $p_{изб}$, действуя на разделительную мембрану 7, прогибает ее. Этот прогиб, преобразуемый в давление технического масла, передается сенсорной мембране. Даже малый ход мембраны (примерно 0,1 мм) из-за небольших расстояний между обкладками конденсатора приводит к увеличению электрической емкости, образованной сенсорной мембраной 1 и обкладкой 2, и уменьшению емкости, состоящей из этой мембраны и обкладки 3. Такие изменения отслеживаются измерительным блоком на соответствующих парах электровыводов 8—9 и 9—10.

На разделительную мембрану 6 действует атмосферное давление $p_{атм}$. В измерительном преобразователе абсолютного давления на разделительную мембрану 6 устанавливается кожух, внутренняя полость которого вакуумируется.

Наиболее совершенной моделью емкостного сенсора компании ROSEMOUNT Inc. является копланарная ячейка, принципиальная

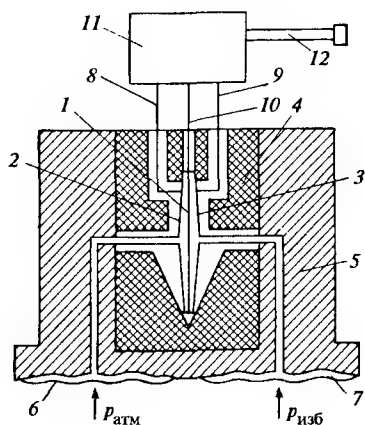


Рис. 5.13. Принципиальная схема емкостной копланарной ячейки:

1 — сенсорная мембрана, 2, 3 — обкладки автономных емкостных ячеек, 4 — компаунд-диэлектрик, 5 — корпус, 6, 7 — разделительные мембраны, 8, 9, 10 — электрические выводы конденсаторов, 11 — измерительная схема, 12 — лента электрических выводов

схема которой представлена на рис. 5.13. Сенсорная мембрана 1 попарно с обкладками 2 и 3 автономных полостей образует емкостные ячейки, снаружи которых пространство заполняется компаунд-диэлектриком 4. Этот

блок размещен в металлическом корпусе 5. Внутренние полости емкостных ячеек сообщаются с соответствующими полостями входных камер, образованных корпусом и разделительными мембранами 6 и 7. Причем для уменьшения методической погрешности разделительные мембраны расположены в одной горизонтальной плоскости, отчего ячейка получила название копланарной.

На разделительные мембраны автономно действуют давления $P_{атм}$ и $P_{изб}$. Изменение электрических емкостей между электродами, роль которых выполняют сенсорная мембрана 1 и обкладки автономных емкостных ячеек, отслеживается через электровыводы 8, 9 и 10 измерительной схемы 11. На выходе схемы располагается лента электрических выводов 12 с присоединительным электрическим разъемом.

Измеряемое давление действует на разделительную мембрану 7 и через разделительную жидкость передается на сенсорную мембрану 1. Под действием этого мембрана 1 прогибается, и в результате изменяется электрическая емкость ячеек, образованных сенсорной мембраной и обкладками. В одной ячейке электрическая емкость увеличивается, в другой — уменьшается.

Электрические ячейки включаются в разные плечи измерительного моста. На одну из разделительных мембран 6 действует атмосферное давление. В измерителях абсолютного давления — вакуум. Соответственно при включении этого блока в одно плечо измерительного моста, а другого блока (избыточное давление — емкостная ячейка) — в другое плечо на выходе измерительной схе-

мой 11 в ленте электрических выводов 12 генерируется электрический сигнал напряжения по величине измеряемого избыточного давления.

Измерительные преобразователи с дельта- и копланарными ячейками имеют выходной сигнал 4—20 мА с обязательным оснащением цифровым кодом в виде HART-протокола или по дополнительному заказу FIELDBUS-протокола.

Отличительной особенностью измерительных преобразователей фирмы ROSEMOUNT Inc. являются компактность и универсальность переходного блока соединения сенсорного узла с импульсными линиями. Благодаря этому измеритель может изменять свое функциональное назначение.

Представляет интерес новая разработка фирмы по вариантам нарушения профиля при превышении предельно допустимого давления. Разделительная мембрана изготавливается таким образом, что на общей поверхности имеются две воспринимающие давление площадки: центральная, наиболее чувствительная, и периферийная, включающаяся в работу при существенных деформациях центральной. Сигнал по остаточным явлениям на периферийной площадке включается в компенсационную систему генерирования сигнала по измеряемому давлению. Это повышает точность измерения, особенно в условиях работы с максимально допустимыми параметрами.

Корпус прибора изготавливается литым из алюминиевых сплавов, а для агрессивных сред — из нержавеющей стали, металлов типа Hastelloy, Monel, тантал.

Большие возможности применения емкостного метода в разработке манометрических приборов подтвердили во ВНИИМ им. Д. И. Менделеева, создав государственный специальный эталон единицы абсолютного давления для диапазона от $1 \cdot 10^{-3}$ до $1 \cdot 10^3$ Па со случайной погрешностью не более 0,001 Па. Метод функционирования эталона основан на электростатической компенсации прогиба металлической мембраны, который появляется из-за разности давлений в камерах мембранно-емкостного преобразователя.

5.2.3. Преобразователи с электромагнитными системами

До недавнего времени измерительные преобразователи давления и разрежения на основе дифференциально-трансформаторного принципа, имеющие название МЭД, были одними из наиболее рас-

пространенных. Хотя приборы такого типа сняты с производства, в промышленности они используются еще достаточно часто. Некоторые производители периодически объявляют о начале работ по возобновлению их выпуска. И действительно, эти приборы могут иметь своего потребителя в определенном секторе промышленности. Но измерительные преобразователи давления и разрежения на основе дифференциально-трансформаторной связи должны производиться на другом техническом уровне исполнения комплекствующих узлов.

Приборы на основе дифференциально-трансформаторной схемы преобразования предназначены для получения унифицированного электрического сигнала по измеряемому давлению. Унифицированным сигналом в этих преобразователях служит взаимоиндуктивность, изменяющаяся в полном диапазоне измеряемого давления от 0 до 10 МГн.

Принцип действия измерительных преобразователей с дифференциально-трансформаторной схемой базируется на способности манометрической пружины, соединенной с плунжером, перемещать его в электрическом поле двух трансформаторных катушек. Так, среда с рабочим давлением p (рис 5.14) через присоединительный штуцер 1 поступает в полость манометрической пружины 2 и вызывает ее перемещение, а также связанного с ней плунжера 3. При действии измеряемого давления плунжер перемещается в зазоре двух трансформаторных катушек: питания 4 и измерения 5. Изменение положения плунжера в зазоре дифференциально-трансформаторного преобразователя приводит к изменению взаимной индуктивности между обмотками катушек и соответственно электрических параметров (напряжения и фазы) выходного сиг-

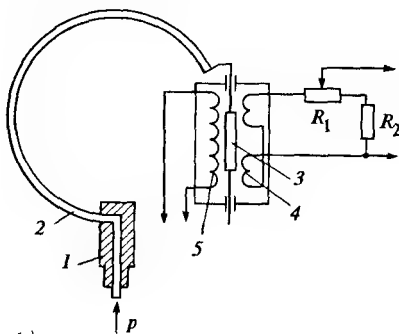


Рис. 5.14. Принципиальная схема измерителя давления с дифференциально-трансформаторной связью:

1 — присоединительный штуцер, 2 — манометрическая пружина, 3 — плунжер, 4, 5 — трансформаторные обмотки питания и измерения соответственно, R_1 — корректор «нуля», R_2 — регулятор диапазона измерения

нала. Резисторы R_1 и R_2 предназначены для установки «нуля» прибора и корректировки диапазона измерения.

Классы точности таких приборов — 1,0 и 1,5.

Приборы типа МЭД производились в металлическом корпусе диаметром 160 мм (большинство из них — с закрытой лицевой панелью). Однако в некоторых конструкциях дифференциально-трансформаторная схема функционировала параллельно со стрелочной индикацией измеряемого давления, как у показывающих манометров (см. гл. 2).

Измерительные преобразователи на основе дифференциально-трансформаторной связи совместимы с вторичными приборами, входными параметрами которых являются унифицированные взаимоиндуктивные сигналы, например с КПД1, КВД1, КСД1, КСД2, КСД3. В ряде случаев, когда при работе с несколькими преобразователями типа МЭД используется одноканальный регистрирующий или показывающий прибор, для повышения информативности применяют переключатель, обеспечивающий поочередное соединение этого устройства с измерительными преобразователями.

Принцип действия измерительных преобразователей давления с компенсацией магнитных потоков основан на взаимодействии электрического поля постоянного магнита, соединенного с чувствительным элементом, с магнитным полем, образованным катушками возбуждения, и появлении магнитного поля рассогласования, значение которого зависит от измеряемого давления.

В такой конструкции измерительного преобразователя измеряемое давление (рис. 5.15, а) через подводящий штуцер 1 и капилляр 2 действует на трубчатую манометрическую пружину 3, закрепленную на корпусе прибора 4 с помощью держателя 5. Под влиянием давления пружина перемещает плунжер 6, на конце которого закреплен постоянный магнит 7. Смещение магнита вызывает изменение конфигурации магнитного поля, образованного этим магнитом и катушками возбуждения 8. Такие изменения конфигурации отслеживаются индикатором магнитных потоков. На выходе индикатора генерируется постоянное напряжение, которое поступает в линию дистанционной передачи (где с помощью усилителя преобразуется в унифицированный сигнал тока) и одновременно в обмотку обратной связи магнитомодуляционного преобразователя. Эта обмотка создает магнитный поток, уравновешивающий первичное влияние постоянного магнита.

Принцип работы магнитомодуляционного преобразователя может быть проиллюстрирован рис. 5.16. В нейтральном состоянии

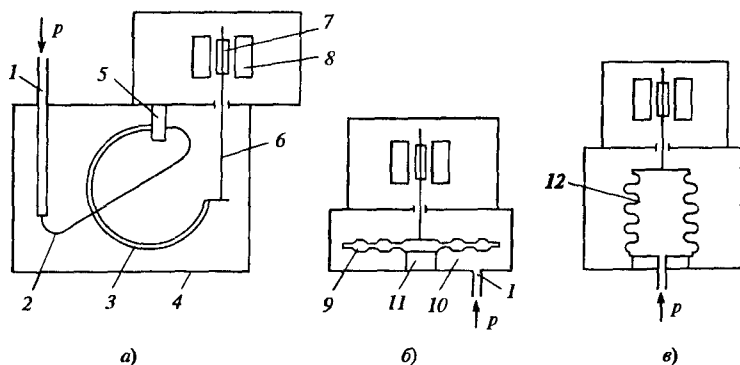


Рис. 5.15. Схемы измерительных преобразователей давления на основе компенсации магнитных потоков:

а — с трубчатой пружиной; *б* — с мембраной, *в* — с сильфоном, 1 — подводящий штуцер; 2 — соединительный капилляр; 3 — трубчатая пружина; 4 — корпус прибора; 5 — держатель; 6 — плунжер; 7 — постоянный магнит; 8 — катушки возбуждения; 9 — мембрана; 10 — полость измеряемого давления; 11 — основание; 12 — сильфон

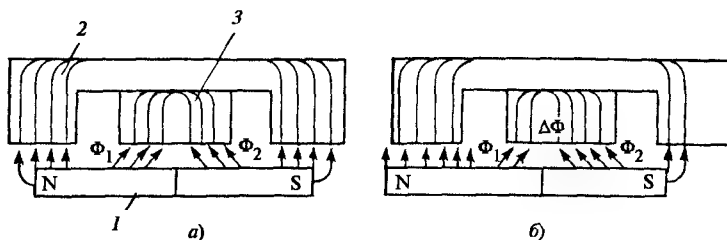


Рис. 5.16. Схема работы магнитомодуляционного преобразователя:

а — уравновешенная система с симметричным расположением элементов, *б* — схема преобразователя при смещении постоянного магнита, 1 — постоянный магнит; 2 — вспомогательный магнитопровод; 3 — индикатор магнитных потоков

(рис. 5.16, *а*) постоянный магнит 1, два полюса которого включены в плечи магнитного моста, расположен симметрично вспомогательному магнитопроводу 2. Магнитопровод соединен с двумя другими плечами магнитного моста. В диагонали измерительного моста установлен индикатор магнитных потоков 3. При одинаковых магнитных потоках, исходящих из разных полюсов магнита

и пересекающих индикатор 3, разностное значение магнитного потока в его сечении равно нулю. При смещении постоянного магнита 1 (рис. 5.16, б) нарушается симметрия магнитного моста и в спиральном магнитопроводе индикатора генерируется разностный магнитный поток $\Delta\Phi$, свидетельствующий о величине измеряемого давления.

Измерительные преобразователи с компенсацией магнитных потоков, имеющие в своей основе трубчатую манометрическую пружину, маркируются как МПЭ-МИ (название более ранних конструкций — МПЭ) и работают в диапазоне от 0,1 до 60 МПа с классами точности 0,6; 1,0 и 1,5.

Для измерения более низкого давления используются другие чувствительные элементы. Так, известны конструкции (см. рис. 5.15, б), в которых в качестве чувствительного элемента применена мембрана. Приборы этой серии имели маркировку МАДМЭ — манометры абсолютного давления мембранные электрические. Верхним пределом измерения приборов были 10 и 60 кПа с классом точности 2,5. В таких конструкциях измерительный блок изготовлялся из двух сваренных между собой мембран, а образованная внутренняя полость вакуумировалась и герметизировалась. Образованная мембранная коробка закреплялась своей нижней образующей на основании. Измеряемое давление подавалось через подводящий штуцер в рабочую полость, действовало снаружи мембранной коробки и вызывало перемещение подвижного центра и соответственно плунжера с постоянным магнитом.

В приборах типа ММЭ, работающих в диапазоне давлений до 0,16; 0,25; 0,4; 0,6; 1,0; 1,6 и 2,5 МПа, основание 11 закрепляет мембранную коробку на ее верхней образующей. Класс точности прибора заявлен равным 1,0.

Приборы серии ДМЭ-МИ, базирующиеся также на чувствительных элементах в виде мембран и мембранных коробок, относятся к дифференциальным манометрам, работоспособным при давлении от 4,0 до 630 кПа, 1,0 и 1,6 МПа. Более детально они описаны в § 5.3.

Известны конструкции приборов (см. рис. 5.15, в) с сильфоном в качестве чувствительного элемента. Они также относятся к дифференциальным манометрам и имеют маркировку ДСЭ-МИ. Однако это не мешает использовать их для измерения малых давлений, когда в «плюсовую» камеру поступает измеряемая среда, а «минусовую» оставляют открытой и сообщаемой с окружающей атмосферой.

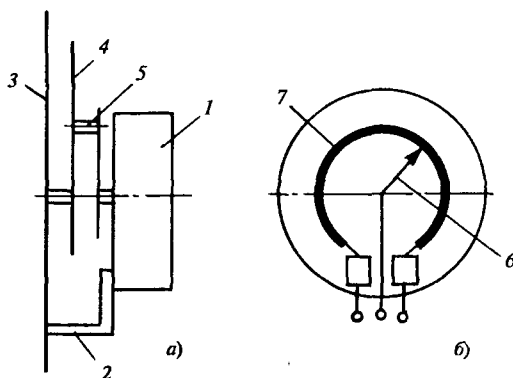


Рис. 5.17. Электропреобразовательная приставка:

а — схема установки потенциометра; *б* — схема потенциометра; 1 — потенциометр; 2 — подставка; 3 — циферблат; 4 — указательная стрелка; 5 — узел соединения; 6 — движок реохорда, 7 — шкала реохорда

Приборы такого типа были широко распространены. Однако чувствительность измерительной схемы к нахождению вблизи устройств металлических предметов, нелинейность характеристики, нестабильность «нуля», значительные изменения показаний при варьировании угла наклона приборов, не позволили им и дальше оставаться на рынке измерительных преобразователей, хотя на промышленных объектах они используются еще достаточно часто.

К измерительным преобразователям с электрической схемой относятся устройства, базирующиеся на потенциометре, один из вариантов которого приведен на рис. 5.17.

Потенциометр 1 с помощью подставки 2 крепится на циферблате 3 прибора. Указательная стрелка 4 с помощью узла соединения 5 перемещает движок реохорда 6.

Перемещение движка реохорда 6 по шкале 7 приводит к изменению сопротивлений R_1 и R_2 электрических цепей, что, в свою очередь, может регистрироваться внешними измерителями.

Погрешность индикации положения указательной стрелки, выраженная в величинах сопротивления электрических цепей, может составлять от 0,5 до 3 % полной шкалы измерения.

5.2.4. Приборы с пьезорезонансной и другими системами преобразования

Пьезоэлектрические преобразователи на основе принципов, описанных в п. 5.1.4, нашли применение в измерительных устройствах для отображения и регистрации высокочастотных процессов изменений давления. При постоянном давлении из-за утечек статических зарядов с пьезоэлементов происходит падение выходного напряжения, что препятствует широкому распространению таких преобразователей.

Достаточно высокие метрологические показатели обеспечивают измерительный преобразователь на основе резонатора. В одной из таких конструкций (рис. 5.18) блок пьезочувствительного кварцевого резонатора состоит из трех кварцевых кристаллических пластин: рабочей 1, опорной 2 и внешней 3. Рабочая и опорная пластины имеют углубления, на внутренних поверхностях которых установлены тензочувствительные резонаторы. В таких резонаторах применяется кварцевый кристаллический двоянный микрокамертон, в котором пьезоэлектрически возбуждаются колебания изгибных окончаний.

Измеряемое давление p через разделительный мембранный блок 4, заполненный жидкостью, передается на рабочую пластину 1 и ее кварцевую мембрану, вызывая деформацию последней. Эта деформация приводит к изменению резонансной частоты тензорезонатора, что регистрируется измерительным блоком, установленным на плате 5.

Внешняя пластина 3, имея непосредственное соединение

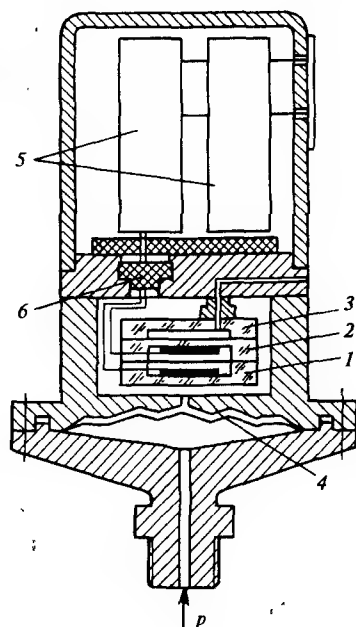


Рис. 5.18. Конструкция измерительного преобразователя на основе резонатора:

1, 2, 3 — рабочая, опорная и внешняя пластины блока резонатора соответственно, 4 — разделительный мембранный блок, 5 — платы измерительного блока, 6 — электроввод

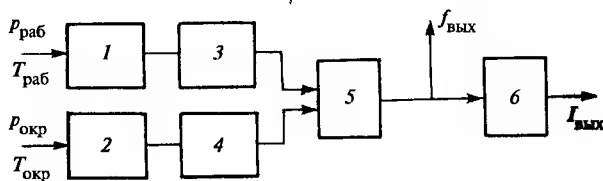


Рис. 5.19. Структурная схема измерительного преобразователя на основе пьезоэффекта:

1, 2 — рабочий и опорный чувствительные элементы, 3, 4 — частотные автогенераторы, 5 — смеситель, 6 — преобразователь

с окружающей средой, обеспечивает компенсационное воздействие давления окружающей среды на кварцевую мембрану опорной пластины.

Электроввод 6 обеспечивает электрический вывод из зоны рабочего давления.

Структурная схема преобразователя приведена на рис. 5.19. На рабочий чувствительный элемент 1 воздействует измеряемая среда давлением $p_{\text{раб}}$ и температурой $T_{\text{раб}}$, на опорный чувствительный элемент 2 — давлением окружающей среды $p_{\text{окр}}$ и температурой окружающей среды $T_{\text{окр}}$.

Частотные автогенераторы 3 и 4, в электрическую цепь которых включены рабочий и опорный чувствительные элементы, генерируют на своих выходах частотные сигналы давлению и температуре рабочей и окружающей сред. Частотный выходной сигнал со смесителя 5 является разностным параметром между сигналами рабочего и опорного каналов. Соответственно в каждый канал включены чувствительный элемент и автогенератор. Выходным сигналом измерительного преобразователя могут служить частотный $f_{\text{вых}}$ и унифицированный токовый $I_{\text{вых}}$ сигналы, которые генерируются на выходе частотного преобразователя 6. На практике частотный сигнал $f_{\text{вых}}$ по своим техническим показателям предпочтительнее токового $I_{\text{вых}}$.

В серии измерительных преобразователей давления, разрежения и разности давлений фирмы YOKOGAWA применен кремниевый резонатор, изготавливаемый в виде монокристаллической структуры. Основой чувствительного элемента служат два механических резонатора, интегрированных в кремниевую мембрану.

Кремниевый резонатор DPharp, выполненный в виде буквы «Н» (см. рис. 5.28), имеют собственную частоту поперечных колебаний в несколько десятков кГц.

Мембрана подвергается с одной стороны воздействию измеряемого давления, что приводит к деформации ее поверхности. Расположенные на другой поверхности мембраны резонаторы из-за использования разных образующих поверхности размещаются таким образом, что один резонатор под воздействием давления подвергается растяжению, а другой — сжатию. С ростом давления увеличивается разница собственных частот установленных резонаторов. Эта разница частот пропорциональна приложенному давлению. Линейность зависимости частоты от давления позволяет изготавливать прибор с симметричным выходным сигналом по отношению к избыточному и вакуумметрическому давлению, а также иметь возможность перенастройки диапазона измерений в интервале от 1 до 100, сохраняя при этом точность и стабильность. Высокие метрологические характеристики, в которых практически отсутствует влияние гистерезиса, достигнуты измерением не электрического, а механического параметра — резонанса.

Возможность считывания непосредственно частоты без дополнительных преобразований предопределяет достижение высокой точности измерений. При этом влияние внешних «паразитных» факторов, например температуры окружающей среды, у приборов с измерением резонанса в 4—10 раз ниже, чем у пьезоэлектрического преобразователя.

5.2.5. Особенности производства современных измерительных преобразователей давления и разрежения

Значительная часть современных измерительных преобразователей давления и разрежения конструктивно унифицирована. На рис. 5.20, а показаны чувствительный элемент и схема преобразования, применяемые во многих технологиях приборостроительного производства.

Первичный преобразователь, который может функционировать по тензометрическому, емкостному или другому принципу преобразования, изготавливается в виде «таблетки» диаметром около 20 мм. Он устанавливается (рис. 5.20, б) в корпусе 1. Уплотнение между корпусом и чувствительным элементом производится с помощью уплотнительного кольца 3 и стопорной шайбы 4. Чувствительный элемент 2 при действии на него измеряемого давления ге-

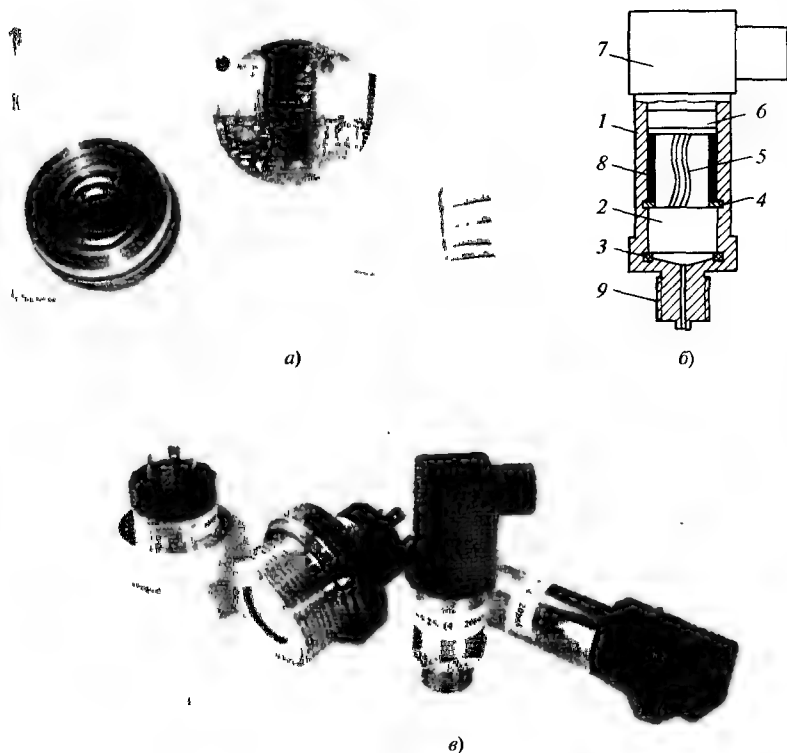


Рис. 5.20. Измерительные преобразователи избыточного давления:

a — чувствительный элемент и измерительная схема; *б* — схема измерительного преобразователя; *в* — преобразователи; 1 — корпус; 2 — чувствительный элемент; 3 — уплотнительное кольцо, 4 — стопорная шайба, 5 — линии электрической связи; 6 — плата преобразования; 7 — электрический разъем; 8 — основание; 9 — штуцер подвода измеряемой среды

нерирует выходной электрический сигнал напряжения несколько десятков или сотен милливольт. Этот сигнал по линиям электрической связи 5 поступает на вход платы преобразования 6, где трансформируется в унифицированный сигнал тока. Последний через электрический разъем 7 поступает на вход систем регистрации или автоматического управления.

Плата преобразования устанавливается в корпусе на основании 8.

Среда измеряемого давления к чувствительному элементу подводится через штуцер 9. Вид подводящего штуцера зависит от ус-

ловий применения измерительных преобразователей. На рис. 5.20, в показаны преобразователи, предназначенные как для обычного применения, так и для измерения уровня жидких сред гидростатическим методом. Для таких измерений диаметр присоединительного штуцера увеличивается. Мембрана чувствительного элемента в целях исключения засорения подводящего канала остается открытой.

5.3. Преобразователи разности давлений. Промышленные приборы

Необходимость измерения перепадов давлений на различных сужающих устройствах, относительного уровня жидкости в различных сосудах, малых избыточных давлений обуславливает производство приборов измерения разностного давления и, в частности, измерительных преобразователей (датчиков) разности давлений. Разность давлений в большинстве случаев требуется измерять с большой точностью, хотя часто в приборах повышенного класса точности значительны погрешности других составляющих устройств, входящих в измерительный комплекс. Например, выигрыш от установки преобразователя разности давлений с классом точности 0,1 в повышение точности измерения расхода среды диафрагмой, погрешность которой только по расчетным данным в лучшем случае может составлять 1,0, будет практически не ощутим и экономически не оправдан. Однако при иных условиях преобразователи с малым значением класса точности могут иметь неоспоримые преимущества.

ГОСТ 22520-84 [26] устанавливает, что в зависимости от возможности перестройки диапазона измерения датчики подразделяют на однопредельные и многопредельные (в том числе перенастраиваемые).

Верхние пределы измерений или диапазоны измерений измерительных преобразователей разности давлений следует выбирать из ряда:

0,06; 0,10; 0,16; 0,25; 0,40; 0,60; 0,63; 1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 6,3; 10; 16; 25; 40; 60; 63; 100; 160; 250; 400; 600; 630 кПа;
1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 6,3; 10; 16 МПа.

Верхние пределы или диапазоны измерений преобразователей, предназначенных для измерения уровня и плотности (датчики гидростатического давления), могут отличаться от приведенных выше.

Предельно допустимые рабочие избыточные давления преобразователей разности давлений при этом следует выбирать из ряда:

25; 40; 60; 100; 160; 250; 400; 600 кПа;

1,0; 1,6; 2,5; 4,0; 6,0; 10; 16; 25; 32; 40; 60; 100 МПа.

Измерительные преобразователи разности давлений могут функционировать на основе различных принципов работы, но в нашей стране наибольшее распространение получили преобразователи на основе тензометрии. За рубежом вместе с активным применением тензометрии сделан ощутимый прорыв в создании измерительных преобразователей давления на основе электрической емкости и пьезоэффекта. Приборы на основе электромагнитного принципа производятся на отечественных предприятиях, а некоторые российские приборостроители специализируются на выпуске устройств с индуктивными преобразователями.

5.3.1. Преобразователи на основе тензометрии

Измерительные преобразователи разности давлений серий «Сапфир», «Метран», как и измерители избыточного давления этих серий, наиболее широко внедрены на предприятиях нашей страны. Приборы этих серий можно отнести к тензометрическим по принципу генерации электрического сигнала только частично. В одних моделях, как это описано ниже, измеряемое давление через разделительную мембрану передается на датчик, в других — мембрана или мембранная коробка служит первичным преобразователем давления в силу, через деформирующие рычаги действующую на площадку датчика.

В приборах серии «Сапфир-22ДД» моделей 2410, 2420, 2430 (рис. 5.21, а) подвод сред «плюсового» и «минусового» давлений производится через подводящие штуцеры 1 соответственно в «плюсовую» и «минусовую» камеры 2 и 3. Металлические гофрированные мембраны 4, приваренные по периметру к корпусу 5, образуют с ним герметичные сообщающиеся сосуды, которые заполняются кремнийорганической жидкостью. Жесткие центры мембран соединены штоком 6, на котором установлен рычаг 7. Другой конец рычага скреплен с нижней плоскостью сапфировой мембраны тензопреобразователя 8.

Среды измеряемых разностных давлений через подводящие штуцеры поступает в «плюсовую» и «минусовую» камеры. Превышение «плюсового» давления над «минусовым» вызывает деформацию гофрированных мембран, в результате чего происходит смещение штока 6. Это, в свою очередь, приводит к перемещению рычага и деформации сапфировой мембраны с тензопреобразователем. Изменение профиля мембраны вызывает увеличение или

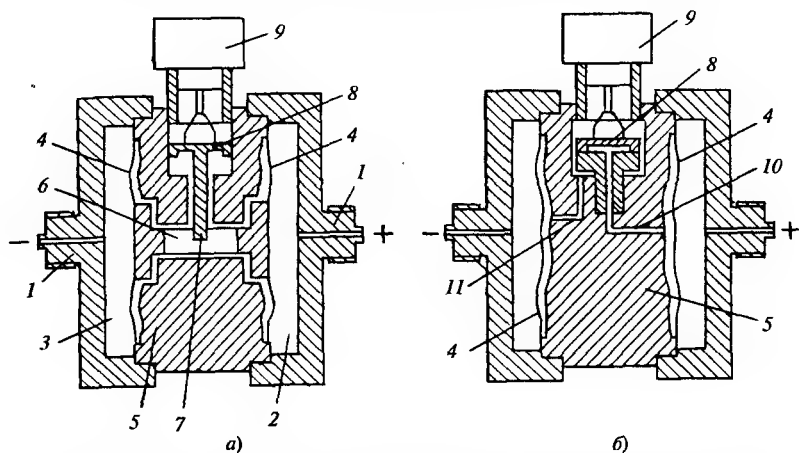


Рис. 5.21. Схемы блоков дифференциального преобразования приборов серии «Сапфир-22ДД»:

а — с рычажной системой, *б* — с мембранными коробками, 1 — подводящий штуцер; 2 — «плюсовая» камера; 3 — «минусовая» камера; 4 — металлическая гофрированная мембрана; 5 — корпус, 6 — шток; 7 — рычаг; 8 — тензопреобразователь; 9 — измерительный блок; 10 — канал «плюсового» давления; 11 — канал «минусового» давления

уменьшение сопротивления отдельных участков тензопреобразователя, что отслеживается измерительным блоком 9, на выходе которого формируется унифицированный сигнал по величине измеряемой разности давлений.

В конструкции с мембранными коробками моделей 2450, 2460, 2464 (рис. 5.21, б) среды измеряемых давлений поступают в «плюсовую» и «минусовую» камеры. Металлические гофрированные мембраны, как и в конструкции, описанной выше, приварены по периметру к корпусу. Отличительная особенность этого устройства состоит в том, что мембранные коробки, как это показано на рис. 5.21, б, автономны. Превалирующее в «плюсовой» камере давление через разделительную мембрану и передающую (кремнийорганическую) жидкость по каналу 10 действует на нижнюю полость тензопреобразователя и вызывает прогиб сапфировой мембраны, который уравнивается «минусовым» давлением, действующим на верхнюю плоскость тензопреобразователя. Передающая жидкость «минусового» давления подводится к тензочув-

ствительному элементу через канал 1/ и гофрированную мембрану. Таким образом, величина прогиба сапфировой мембраны, а соответственно и изменение электрических параметров тензопреобразователя пропорциональны разности действующих «плюсового» и «минусового» давлений.

Выполнение профиля корпуса, как это видно из рис. 5.21, идентичным профилю металлических гофрированных мембран обеспечивает при перегрузках сохранение работоспособности прибора. Так, в модели 2450 не приводит к нарушению работоспособности прибора одностороннее воздействие среды давлением до 16 МПа, в модели 2460 — до 25, в модели 2464 — до 40 МПа.

Выходной сигнал большинства измерительных преобразователей разности давлений пропорционален перепаду давлений. При работе в системах измерения расхода среды может дополнительно устанавливаться блок извлечения корня (БИК), в котором преобразуется выходной сигнал, поступающий с измерительного блока преобразователя, в электрический параметр, линейно связанный с расходом среды.

5.3.2. Преобразователи с емкостными сенсорами

В современных условиях емкостные измерительные преобразователи разности давлений являются, так же как пьезопреобразователи, наиболее технически реализованными и перспективными для дальнейшего совершенствования. Так, фирма FUJI разработала уникальный блок емкостного первичного преобразователя, применяемого в приборах измерения избыточного, абсолютного давлений, разрежения и разности давлений. Блок чувствительного элемента такого преобразователя включает емкостный микросенсор и систему подвода измеряемой среды. Принципиальная схема блока первичного преобразователя разности давлений показана на рис. 5.22.

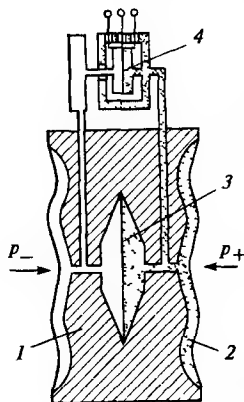


Рис. 5.22. Принципиальная схема блока чувствительного элемента с емкостным микросенсором измерительного преобразователя разности давлений:

1 — корпус, 2 — входная гофрированная мембрана, 3 — перегрузочная мембрана, 4 — емкостный микросенсор

В корпусе 1 установлены входные гофрированные мембраны 2, воспринимающие «минусовое» p_- и «плюсовое» p_+ давления. Внутри корпуса предусмотрена камера с перегрузочной мембраной 3, обеспечивающей защиту гофрированных мембран 2 и микросенсора 4 при перегрузках. Внутренние полости между корпусом и входными гофрированными мембранами заполнены силиконовым или в отдельных случаях фтористым маслом, обеспечивающим передачу давления от гофрированных мембран по подводящим каналам к емкостному микросенсору. Последний окружен силиконовой жидкостью от «плюсового» канала, что обеспечивает высокую температурную стабилизацию, защиту от влияния атмосферного давления, перегрузки, а также уникальные защитные свойства от механических вибраций, включая даже ударные воздействия. Такое конструктивное исполнение микросенсора носит название «поплавкового».

Микросенсор в конструкции приборов фирмы FUJI представляет собой микроемкостный чип размером $9 \times 9 \times 7$ мм, изготовленный с использованием кремния и пьезокерамики. Такая конструкция, исключая металлы, обеспечивает отсутствие усталостных напряжений и последующий «уход» показаний. Кроме этого, электроды микросенсора, представляющие собой плоские мембраны, выполняются по IC-технологии (подобно плазменной гравюре). Оптимальное технологическое решение изготовления плоских электродных мембран, которые в процессе функционирования отклоняются своими центрами не более чем на 4 мкм, а также идеальные эластичные и стабильные характеристики силикона гарантируют микросенсорному блоку до 0,05 % нелинейности выходной характеристики без дополнительной подстройки для всех рабочих диапазонов.

Принципиальная схема функционирования измерительного преобразователя разности давлений представлена на рис. 5.23. На блок чувствительного элемента 1 действуют «минусовое» p_- и «плюсовое» p_+ давления. Электрический выход этого блока соединен с аналого-цифровым преобразователем 2, подключенным к микропроцессору 3. Управление микропроцессором осуществляется как заложенным в него программным обеспечением и реализуемым через постоянные настройки, так и в режиме «интеллектуального» функционирования с помощью персонального компьютера, поддерживающего FUJI- или HART-протоколы. Команды воздействия на микропроцессор могут подаваться от коммуникацион-

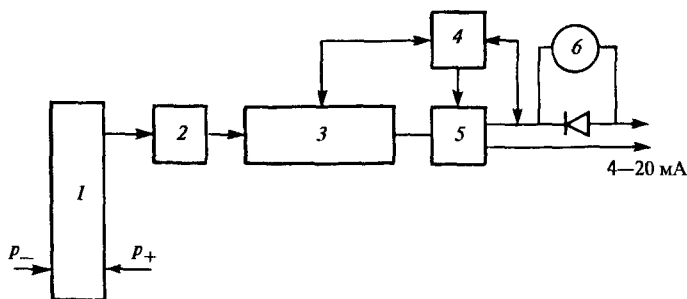


Рис. 5.23. Принципиальная схема измерительного преобразователя давления фирмы FUJI:

1 — блок чувствительного элемента, 2 — аналого-цифровой преобразователь, 3 — микропроцессор, 4 — коммуникационный блок, 5 — цифроаналоговый преобразователь, 6 — индикатор

ного блока 4 ручным дистанционным пультом управления (коммуникатором).

В моделях, где не предусмотрен цифровой код передачи, микропроцессор соединен с цифроаналоговым преобразователем 5, генерирующим унифицированный сигнал тока 4—20 мА. Индикатор 6, установленный на линии выходного сигнала, обеспечивает визуальное наблюдение за измеряемым параметром.

В измерительных преобразователях давления FUJI конструктивно предусмотрены: компенсация температуры окружающей и измеряемой сред, дистанционная перенастройка диапазона измерения, самоконтроль технической исправности, представление информации в требуемых единицах измерения.

Измерительные преобразователи разности давлений FUJI (рис. 5.23) изготавливаются в блочной конструкции, что упрощает сборочные и ремонтные работы. Так, аналого-цифровой преобразователь, коммуникационный блок, индикатор являются заменяемыми узлами, монтаж которых может проводиться без дополнительной настройки.

В программном комплексе приборов заложена функция микродемпфирования, обеспечивающая сглаживание показаний с постоянной от 0 до 20 с, а в отдельных моделях — до 40 с.

Защита от воздействия окружающей среды выполняется на уровне IP67.

Корпуса современных измерительных преобразователей выполняются литыми из алюминиевого сплава с низким содержанием меди, покрываются слоем эпоксиды или полиуретана. Как опция корпуса могут изготавливаться из нержавеющей стали.

5.3.3. Преобразователи с электромагнитными системами

Измерительные преобразователи разности давлений на основе различных электропреобразовательных элементов (надежные и легко ремонтируемые) в настоящее время еще широко используются в промышленности.

Измерительные преобразователи типов ДСЭ и ДМЭ функционируют на основе сильфонов или мембранных блоков (рис. 5.24) и называются «устройствами с компенсацией магнитных потоков». Принцип действия измерительных преобразователей такого типа, как это описано в § 5.2, основан на взаимодействии электрического поля постоянного магнита, механически соединенного с чувствительным элементом, с магнитным полем, образованным неподвижно закрепленными катушками возбуждения. В результате взаимодействия магнитных полей устанавливается определенное равновесие магнитного потенциала результирующего поля. При смещении одного магнитного поля относительно другого индуцируется рассогласование, что отображает величину измеряе-

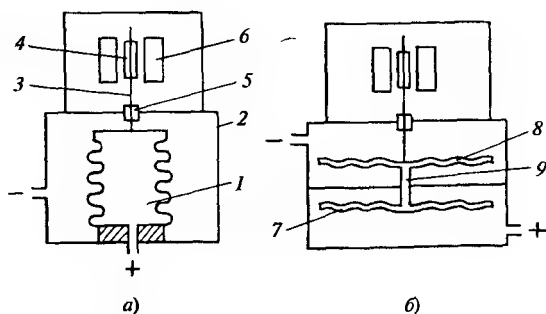


Рис. 5.24. Схемы измерительных преобразователей разности давлений на основе компенсации магнитных потоков:

а — с сильфоном, б — с мембранным блоком, 1 — сильфон, 2 — корпус прибора, 3 — плунжер, 4 — постоянный магнит, 5 — узел уплотнения, 6 — катушки возбуждения, 7 — мембранная коробка «плюсового» давления, 8 — мембранная коробка «минусового» давления, 9 — соединительный канал

мой разности давлений. В измерительных преобразователях разности давлений сильфонного типа (ДСЭ) первичным преобразующим элементом (рис. 5.24, а) служит сильфон 1, жестко закрепленный основанием в корпусе 2. Среды с различными давлениями через «плюсовой» и «минусовой» подводы, подаются к сильфону. Причем среда «плюсового» давления подается во внутреннюю полость сильфона, а «минусового» — в корпус прибора, таким образом воздействуя на наружную оболочку сильфона. В результате такого воздействия верхняя образующая сильфона перемещается и вызывает линейное движение плунжера, на конце которого жестко закреплен постоянный магнит 4. Плунжер 3 введен в зону электромагнитного преобразователя через узел уплотнения 5. В состав электромагнитного преобразователя включены катушки возбуждения 6, жестко соединенные с корпусной обечайкой. Рассогласование равновесия магнитных полей постоянного магнита и катушек возбуждения отображает линейное перемещение верхней образующей сильфона и соответственно разность между «плюсовым» и «минусовым» давлениями.

В конструкции дифманометра типа ДМЭ (рис. 5.24, б) первичным чувствительным элементом служит блок, состоящий из мембранной коробки «плюсового» 7 и «минусового» 8 давлений, соединенных каналом 9. Мембранные коробки с каналом образуют замкнутый герметичный сосуд, заполненный в конструкциях, предназначенных для работы при температурах окружающего воздуха от 5 до 60 °С, дистиллированной водой, а при температурах от -50 до 60 — полиметилсилоксановой жидкостью. Мембранная коробка «плюсового» давления размещается в нижней части корпуса прибора. При воздействии на мембранный блок двух различающихся по давлению сред происходит «передавливание» жидкости из мембранной коробки «плюсового» давления через канал в мембранную коробку «минусового» давления. В результате этого происходит перемещение верхней площадки мембранной коробки «минусового» давления, на которой закреплен плунжер с постоянным магнитом на конце.

Мембранные коробки «плюсового» и «минусового» давлений изготавливаются из мембран с одинаковыми профилями, что позволяет выдерживать прибору перегрузки, значительно превышающие предел измерения.

Схемы преобразования линейного перемещения плунжера в унифицированный выходной электрический сигнал приборов ДСЭ и ДМЭ, так же как приборов МПЭ, идентичны.

Преобразователи разности давлений ДСЭ и ДМЭ могут применяться для измерения малых избыточных давлений. Тогда среда измеряемого давления подается в «плюсовую» камеру, а «минусовую» камеру оставляют открытой и сообщаемой с атмосферой. Таким образом, эти приборы могут использоваться для измерения давления различных сред методом гидростатического столба. Устройства, предназначенные для подобного применения, имеют маркировки ДСЭУ и ДМЭУ.

Приборы с компенсацией магнитных потоков, использующиеся в измерении расходов различных сред по перепаду на сужающем устройстве (диафрагма, сопло, нестандартное сужение), снабжены «блоком извлечения корня». Прибор формирует линейный электрический выходной сигнал в зависимости от измеряемого расхода среды. Устройства с встроенным блоком такого типа маркируются ДМЭР или ДСЭР.

Измерительные блоки приборов с компенсацией магнитных потоков для каждого диапазона измерения оснащены отдельными мембранными коробками или сильфонами.

Дифманометры-перепадамеры, напоромеры, расходомеры, тягомеры сильфонные электрические, маркируемые как ДСЭ-МИ, ДСЭН-МИ, ДСЭР-М и ДСЭР-МИ, ДСЭТ-МИ, работоспособны в диапазоне измеряемых давлений от $-4,0$ до $4,0$ кПа.

Тягомер типа ДСЭТ-МИ обеспечивает измерение давлений от $4,0$ до 630 кПа.

Дифманометрами-перепадамерами, уровнемерами, расходомерами мембранными электрическими типов ДМЭ-МИ, ДМЭУ-МИ, ДМЭР-М и ДМЭР-МИ измеряется давление от $4,0$ кПа до $1,6$ МПа.

Пределы допускаемой основной погрешности описанных выше измерительных преобразователей разности давлений находятся в пределах $0,6$; $1,0$ или $1,5$ % нормируемого значения. Исключения составляют дифманометры-расходомеры, у которых в диапазоне измерения расхода от 0 до 30 % предел погрешности не нормируется.

Дифференциально-трансформаторная схема преобразования и передачи достаточно широко применялась и применяется в измерительных преобразователях разности давлений. Наиболее распространенными манометрическими преобразователями, функционирующими с дифференциально-трансформаторными преобразователями, являются приборы типа ДМ.

Измерительный преобразователь разности давлений ДМ-3583, функционирующий на основе упругих чувствительных элементов — мембранных коробок, является типовым прибором с дифферен-

циально-трансформаторной схемой и выходным унифицированным электрическим сигналом взаимной индукции. Выходной сигнал преобразователя при воздействии на чувствительный элемент давления в пределах от «нуля» до номинального значения формируется в виде изменения взаимной индуктивности от 0 до 10 мГн. Основным чувствительным элементом является, так же как в приборах типа ДМЭ, блок 1 (рис. 5.25), закрепленный на разделительной плите 2 корпуса 3 и состоящий из «плюсовой» 4 и «минусовой» 5 мембранных коробок. К внешним камерам этих коробок по им-

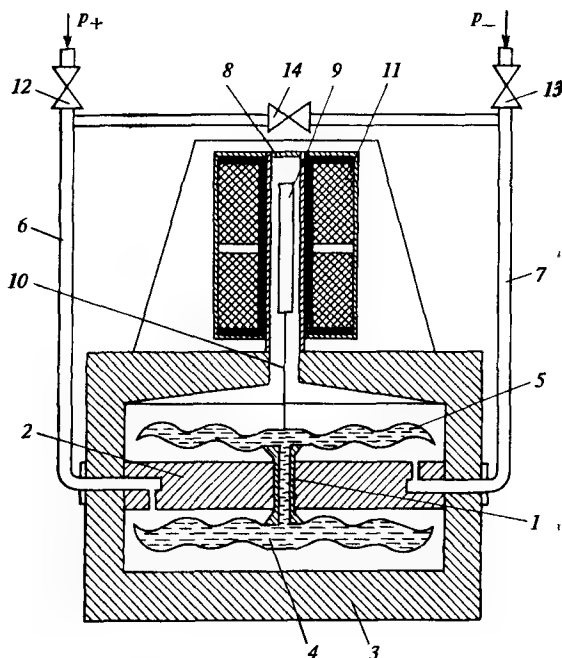


Рис. 5.25. Схема измерительного преобразователя разности давлений с мембранными коробками ДМ-3583:

1 — блок мембранных коробок, 2 — разделительная плита, 3 — корпус, 4 — «плюсовая» коробка, 5 — «минусовая» коробка, 6 — импульсная линия «плюсового» давления, 7 — импульсная линия «минусового» давления, 8 — разделительная трубка, 9 — плунжер, 10 — немагнитный шток, 11 — катушка, 12 — клапан «плюсового» давления, 13 — клапан «минусового» давления, 14 — уравнивающий клапан

пульсным линиям 6 и 7 подводятся измерительные среды «плюсового» и «минусового» давлений. Внутренние полости мембранных коробок заполнены водным раствором этиленгликоля (дистиллятом или кремнийорганической жидкостью). Над внутренней полостью коробки «минусового» давления на корпусе герметично установлена разделительная трубка 8 из нержавеющей стали, не обладающая магнитными свойствами. Внутри этой трубки размещается плунжер 9, соединенный с верхней образующей коробки «минусового» давления, с помощью немагнитного штока 10. На разделительной трубке неподвижно закреплена электрическая катушка 11 дифференциально-трансформаторной схемы. На импульсных линиях «плюсового» и «минусового» давлений установлены запорные клапаны 12 и 13, ниже которых эти линии соединены с уравнительным клапаном 14.

Блоки мембранных коробок изготавливаются для каждого диапазона давления и подразделяются по величине рабочего хода (перемещению верхней образующей коробки «минусового» давления) на три группы: $1,6^{+0,40}_{-0,35}$; $2,5 \pm 0,6$; $4,0 \pm 1,0$. Каждой группе блоков мембранных коробок соответствует группа дифференциально-трансформаторных катушек, различающихся числом витков электрического провода. Чем меньше ход плунжера — перемещение верхней образующей блока, тем выше должна быть чувствительность дифференциально-трансформаторной катушки, что достигается увеличением числа ее витков.

Принципы работы дифференциально-трансформаторного измерительного преобразователя базируется на зависимости положения плунжера, обеспечивающего перераспределение взаимоиндукции между обмоткой возбуждения и вторичной обмоткой (рис. 5.26). Обмотка возбуждения 1 подсоединена к источнику питания. Ток возбуждения I_v обеспечивает при наличии плунжера 2 индуцирование ЭДС в обеих секциях вторичной обмотки. ЭДС на одной из вторичных обмоток может быть рассчитана по следующей формуле:

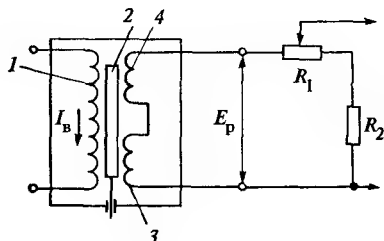


Рис. 5.26. Принципиальная электрическая схема взаимозаменяемого дифференциально-трансформаторного преобразователя:

1 — обмотка возбуждения, 2 — плунжер, 3, 4 — секции вторичной обмотки

$$E = 2\pi f I_B H, \quad (5.16)$$

где H — взаимная индуктивность между обмоткой возбуждения и одной из секций; f — частота тока.

Соответственно результирующая ЭДС на выходе секций 3 и 4 вторичной обмотки на основании выражения (5.16) может быть определена как

$$E_p = 2\pi f I_B (H_3 - H_4). \quad (5.17)$$

Здесь H_3 и H_4 — взаимные индуктивности между обмоткой возбуждения и секциями 3 и 4 соответственно.

Из выражения (5.17) видно, что при условии $H_3 = H_4$, т.е. когда плунжер перекрывает вторичные обмотки на один и тот же размер, результирующая ЭДС равна нулю. При смещении плунжера относительно среднего положения появляется различие между взаимными индуктивностями H_3 и H_4 и соответственно в электрической цепи преобразователя формируется результирующая ЭДС, пропорциональная величине такого смещения.

Производственные условия изготовления предопределяют различие выходных характеристик каждого преобразователя. Для устранения таких различий, т.е. обеспечения взаимозаменяемости, в электрической схеме прибора предусмотрены подстроечные резисторы R_1 и R_2 . Смещением движка резистора R_1 устанавливается наклон характеристики зависимости результирующей ЭДС от величины смещения плунжера. Настройка «нулевой» точки прибора производится перемещением дифференциально-трансформаторной катушки вдоль разделительной трубки.

Классы точности таких приборов 1,0 и 1,5.

Колокольные измерительные преобразователи разности давлений также имеют выходной сигнал взаимоиндукции в дифференциально-трансформаторной схеме преобразования.

Принцип работы этих приборов может быть отнесен к гидростатическим и базируется на положении колокола, расположенного в жидкости, когда большее давление действует внутри колокольного устройства, а меньшее — снаружи.

Уравновешивание измеряемого дифференциального давления в приборах колокольного принципа работы, проявляемое в вертикальном перемещении колокола, осуществляется с помощью винтовой пружины или дополнительных специальных грузов. Чувствительность приборов такого типа пропорциональна площади ко-

локола и обратно пропорциональна жесткости винтовой пружины или величине дополнительных грузов.

В качестве рабочей жидкости ранее применялась ртуть. В настоящее время используется только трансформаторное масло.

Схема колокольного преобразователя разности давлений ДКО-3702 приведена на рис. 5.27. На основании 1 прибора герметично установлен кожух 2, частично заполненный рабочей жидкостью. Внутри кожуха на его вертикальной оси установлен колокол 3, вертикальное перемещение которого в значительной мере определяется упругостью винтовой пружины 4.

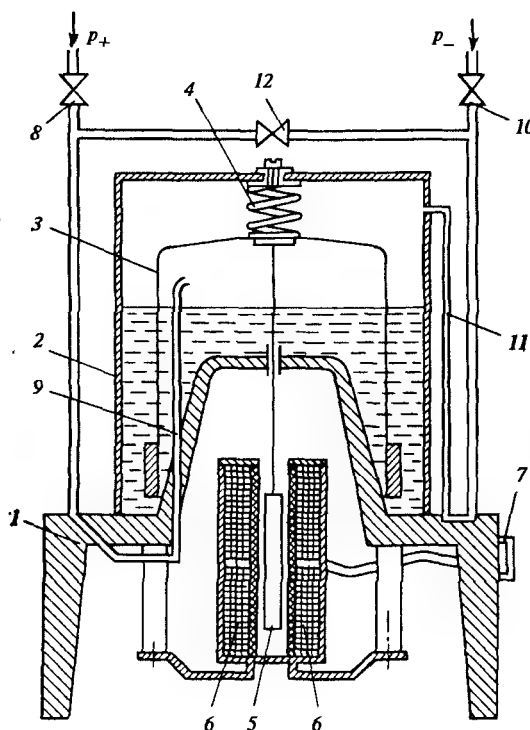


Рис. 5.27. Схема колокольного преобразователя разности давлений ДКО-3702:

1 — основание, 2 — кожух, 3 — колокол, 4 — винтовая пружина, 5 — плунжер, 6 — трансформаторные катушки, 7 — штекерный разъем, 8 — подводящий клапан, 9 — вводная трубка, 10 — клапан подвода, 11 — трубка ввода, 12 — уравнительный вентиль

В центре колокола жестко закреплен плунжер 5, перемещающийся в зазоре трансформаторных катушек 6, электрически соединенных штекерным разъемом 7.

Среда «плюсового» давления через подводящий клапан 8 и вводную трубку 9 поступает во внутреннюю полость колокола, что приводит к его подъему. Противодействие подъему создается средой «минусового» давления, подводимой через клапан подвода 10 и трубку ввода 11 в верхнюю часть кожуха, и винтовой пружиной. Наступающее равновесие отслеживается дифференциально-трансформаторной схемой, включающей плунжер и трансформаторные катушки. На выходе схемы формируется взаимоиндуктивный электрический сигнал. При изменении давления от нуля до максимального значения рабочего диапазона взаимная индуктивность возрастает от -10 до 10 мГн. Таким образом, нулевому значению выходного электрического параметра соответствует половина диапазона дифференциального давления измерителя.

Выходной сигнал приборов этого типа линейно связан с величиной дифференциального давления. При использовании колокольных преобразователей для получения линейной зависимости измеряемого перепада давления и расхода среды ранее применялись конструкции со специальной формой колокола. В настоящее время прибор доукомплектовывается электронным «блоком извлечения корня».

Колокольные измерительные преобразователи из-за достаточно больших габаритных размеров кожуха, что предъявляет повышенные требования к его прочности, применяются при избыточных рабочих давлениях до $0,25$ МПа. Рабочие диапазоны измерительных преобразователей разности давлений колокольного принципа действия составляют от $0,1$ до 1 кПа при классе точности $1,0$. При работе в комплекте со вторичным прибором класс точности снижается до $1,5$.

Колокольные измерительные преобразователи не сложны в эксплуатации, выдерживают превышение номинальных значений рабочих давлений до 50% рабочего диапазона, отличаются высокой чувствительностью и наиболее широко применяются при измерении газов, имеющих небольшое избыточное давление.

Измерительные преобразователи на основе дифференциально-трансформаторной схемы, например с упругими чувствительными элементами, колокольные, совместимы с вторичными приборами

КПД1, КВД1, КСД1, КСД2, КСД3, входным параметром которых служит унифицированный сигнал взаимной индукции.

5.3.4. Преобразователи на основе резонанса

При производстве измерительных преобразователей разности давлений одной из основных тенденций в настоящее время является использование резонаторов в преобразователях давления с высокими метрологическими характеристиками. В современных приборах входная величина давления или разность давлений определяет собственную частоту колебаний резонатора, являющегося частью первичного пьезопреобразователя. Конструкции чувствительного элемента с резонатором и материалы, из которых они изготавливаются, могут быть совершенно различными. Так, в приборах фирмы YOKOGAWA применен H-образный резонатор из кремния на кремниевой мембране, конструкция которого описана ниже. Фирма FISHER-ROSEMOUNT разработала струнные резонаторы. В этих преобразователях давления резонатор, включенный в цепь автогенератора, возбуждается электрическим или магнитным полем. Автогенератор поддерживает колебания резонатора на основной собственной частоте колебаний.

В соответствии с последними разработками производство прибора «Сапфир-22К» предусматривается на базе кварцевого камертонного резонатора. В этом преобразователе два наконечника камертона, размещенного на кварцевой мембране и закрытого кварцевым колпаком, замкнуты своими хвостовыми частями. Внутри устройства — вакуум. Металлизированный камертон через специальные вводы подключен к автогенератору. При включении генератора появляются устойчивые колебания камертона на его собственной частоте. Уникальные механические свойства кристаллического кварца, из которого изготавливается камертон, обуславливают высокие метрологические характеристики преобразователя.

Измеряемое давление действует на кварцевую мембрану, вызывая ее прогиб, который приводит к натяжению ветвей камертона, закрепленного на поверхности данной кварцевой мембраны. Степень натяжения ветвей камертона, их деформации определяет собственную частоту колебаний камертонного резонатора. В результате в зависимости от упругих свойств кварцевой пластины устанавливается зависимость между измеряемым давлением и собственной частотой камертонного резонатора. Такая зависимость имеет определенную нелинейность, что в вычислительном блоке прибора при аппроксимации характеристики преобразования

в процессе градуировки компенсируется применением полинома 3-й степени.

Измерительный преобразователь устанавливается на жестком основании в замкнутом контуре. Внутренний контур камеры с преобразователем заполнен силиконовой жидкостью. Со стороны измеряемого давления находится гофрированная металлическая мембрана, прогиб которой приводит к изменению степени сжатия рабочей жидкости и соответственно к пропорциональному прогибу кремниевой мембраны пьезопреобразователя. Чувствительный элемент такого типа обеспечивает измерение абсолютного давления. Выход пьезопреобразователя соединяется с электронным блоком, обеспечивающим измерение собственных частот резонатора.

Для измерения разности давлений, а также избыточного давления применяют два идентичных первичных преобразователя, на один из которых действует «плюсовое» давление, на другой — «минусовое». В преобразователях избыточного давления канал «минусового» давления соединяется с атмосферой. Поступающий с измерительных схем каждого канала разностный сигнал преобразуется в параметр измеряемого давления, отображается на жидкокристаллическом дисплее и направляется по интерфейсу RS-485 в канал связи.

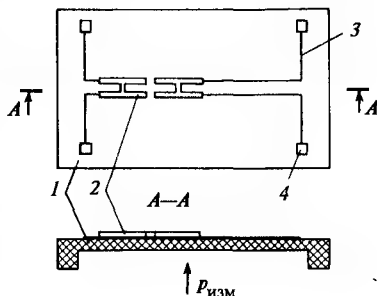
Точность функционирования преобразователей на базе резонаторов существенно зависит от температуры окружающей среды и рабочего вещества, так как под ее воздействием происходит изменение давления рабочей жидкости во внутренней полости измерительной камеры, обусловленное ее температурным коэффициентом объемного расширения. Кроме этого, под влиянием температуры изменяется модуль упругости кварца в составе камертона и мембраны. К сожалению, несовершенство компонентов радиоэлектронного блока в этих конструкциях также приводит к проявлению температурных влияний.

Температурные влияния можно уменьшить, установив в измерительной схеме дополнительный кварцевый термочувствительный резонатор, подвергающийся воздействию аналогичных температурных влияний только окружающей среды.

Кремниевый резонатор DPharp в качестве первичного преобразователя разности давлений фирмы YOKOGAWA приведен на рис. 5.28. Кремниевая мембрана 1 является основой сенсора. Плоские механические резонаторы 2, выполненные в виде буквы Н, интегрированы в кремниевую диафрагму 1. Электрическая связь с ними осуществляется через линии 3 и контакты 4. Работа

Рис. 5.28. Схема кремниевого резонатора DPnarр в качестве первичного преобразователя разности давлений фирмы YOKOGAWA:

1 — кремниевая мембрана, 2 — резонатор, 3 — линии, 4 — контакты



кремниевых резонаторов организована в электрическом магнитном поле. Собственная частота поперечных колебаний резонаторов без нагрузки составляет несколько десятков килогерц.

Измеряемое давление $p_{\text{изм}}$ действует на кремниевую мембрану, вызывая ее прогиб. Асимметричное расположение резонаторов относительно центра мембраны приводит к тому, что при ее прогибе один резонатор подвергается растяжению, а другой — сжатию. При повышении измеряемого давления увеличивается разница (от 0 до десятков килогерц) между частотами собственных колебаний резонаторов. Резонаторы и мембраны подобраны таким образом, что снимаемая разностная частота пропорциональна измеряемому давлению. Такая линейная характеристика действительна в широком диапазоне измеряемых давлений, что позволяет предусматривать в одном приборе перестройку диапазона до соотношения 1:100. Причем эта характеристика симметрична относительно нуля давления, т.е. зависимость разностной частоты имеет идентичный вид, только с разными знаками как для избыточного, так и для вакуумметрического давления. Такой преобразователь выдерживает значительные перегрузки, исключая при этом явления гистерезиса.

Преобразователь типа DPnarр позволяет снимать с одного сенсора показания разности давлений, а также отслеживать статическое давление, температуру рабочей среды в измерительной камере. Таким образом, с помощью прибора можно дополнительно диагностировать состояние измерительного устройства.

Применение метода на основе резонанса повысило чувствительность прибора в 4 раза по сравнению со способом тензометрии.

6 РЕГИСТРАТОРЫ ДАВЛЕНИЯ

Измерение давления в зависимости от решаемых задач может производиться как одиночным прибором, например показывающим манометром, так и сложной измерительной системой, основными функциями которой являются: подача на чувствительный элемент возбуждающего воздействия, снятие параметра, его обработка с последующей регистрацией, индикацией и подачей в системы управления. Измерительные преобразователи, рассмотренные в гл. 5, трансформируют возбуждающее воздействие в электрический выходной сигнал, содержащий информацию об измеряемом давлении.

Электрический сигнал обладает существенным достоинством, которое заключается в возможности его последующей обработки в электронных устройствах. Например, использование различного рода передающих систем, обеспечивающих измерение параметра на расстоянии, сформировалось в отдельное направление измерительной техники под названием телеметрии. Причем такие измерения могут производиться как по проводным телефонным линиям, так и беспроводным способом. Компанией BD-sensors на одной из выставок был продемонстрирован измеритель давления, который по запросу выдает измеряемый параметр на мобильный телефон GSM-связи. Такой метод сбора данных особенно актуален для организации управления удаленными объектами (например, это имеет место при управлении скважинами водопотребления, где отдельные узлы с исполнительными механизмами находятся на расстоянии десятков, а то и сотен километров).

На взрывоопасных предприятиях одно из направлений телеметрии реализуется на основе пневматического сигнала, представляющего собой систему герметичных коммуникаций, заполненных газом. Величина давления в этих коммуникациях является унифицированным сигналом по значению измеряемого параметра, и в частности давления.

В телеметрических системах в последнее время применяют не электрический потенциал или ток, а менее чувствительные к «паразитным» (помеховым) и шумовым влияниям при одной длительности импульсов электрическую частоту или при одной

частоте, но разной длительности — импульсы. Цифровая форма передачи сигнала является базовой в системах измерения и управления компьютерной техникой.

Электрический сигнал, снимаемый с чувствительного элемента прибора, подвергается такой обработке, как усиление, фильтрация, уменьшение нелинейности и др. Только на следующем этапе он может представляться с помощью дополнительных устройств: в задаваемом виде, регистрироваться или заноситься в память различных систем.

Обработка сигнала может быть линейной частотно-зависимой (реализуется при фильтрации сигнала) и линейной частотно-независимой (усиление, ослабление и др.). С электрическим сигналом могут проводиться и нелинейные операции — выпрямление, определение среднеквадратичного или пикового значения, аналого-цифровое преобразование.

Параметры информации могут быть как аналоговыми, когда, например, величина давления отражается в виде светящегося столбика, высота которого линейно связана с измеряемым давлением, так и представляться в цифровом виде.

Регистрация давления производится для обеспечения последующего анализа технологического процесса, повышения информативности проводимых измерений, а также их отслеживаемости.

Приборы, обеспечивающие регистрацию измеряемого давления, можно подразделить на две группы.

К первой относятся устройства, непосредственно содержащие в своей конструкции чувствительный элемент и систему регистрации параметра.

Вторую группу составляют системы, состоящие из измерительного преобразователя (см. гл. 5) с унифицированным выходным электрическим сигналом и регистратора с таким же унифицированным входным сигналом подобного электрического параметра. В качестве унифицированного регистратора могут использоваться приборы, непосредственно обеспечивающие запись манометрического параметра на бумажный носитель, и персональные ЭВМ, воспринимающие выходной сигнал от измерительного преобразователя, архивирующего его на магнитном или оптическом носителе, и представляющие в удобной для восприятия оператором форме. Информация представляется в различных графических, табличных видах на дисплее компьютера или бумажном носителе посредством принтера. Она передается без искажений на разные расстояния, трансформируется во множественные формы, демонстрируется на разного рода иллюстрирующих устройствах.

6.1. Самопишущие манометры

Самопишущие регистраторы давления (самопишущие манометры) представляют собой электромеханическую систему, обеспечивающую графическую отметку значений измеряемого давления на бумаге посредством пера. Перо оставляет на бумаге отметки с помощью чернил, а также тепловым или световым методом (принципы работы можно, например, наблюдать в большинстве факсовых устройств). Применение чернил обеспечивает конструктивную простоту регистрирующей системы и использование недорогой бумаги. Однако механическое трение между пером и бумагой приводит часто к существенной погрешности регистрации. Кроме этого, устройства такого типа не могут работать длительное время без контроля оператора, так как часто перо засоряется и регистрация прерывается.

Современные регистрирующие устройства — принтеры базируются на струйном или лазерном принципе нанесения чернил. Эти приборы надежные, но дорогие и требуют специальных чернил.

Самопишущие манометры МТС (вакуумметры ВТС, мановакуумметры МВТС) предназначены для измерения и непрерывной записи на дисковой диаграмме избыточного (вакуумметрического) давления жидких и газообразных неагрессивных сред.

Основой манометрического самописца служит трубчатая пружина 1 большого диаметра, обладающая существенным тяговым усилием, обеспечивающим функционирование системы передачи движения от чувствительного элемента к индикации и работоспособность регистрирующего устройства (рис. 6.1).

Трубчатая пружина неподвижно закрепляется основанием на держателе 2. Ее конец через наконечник 3 соединен с тягой 4, кривошипно-шатунным механизмом 5 и стрелкой-пером 6.

Измеряемое давление $p_{\text{изм}}$ через подводящий штуцер 7 действует на внутреннюю полость трубчатой пружины. Изменение положения наконечника передается в виде линейного перемещения через тягу и кривошипно-шатунный механизм на стрелку-перо. Перемещение последней по круговому диаграммному диску 8 обеспечивает индикацию и регистрацию измеряемого манометрического параметра.

Стрелка-перо соединена (на рисунке не показано) через капилляр с чернильным баллоном, уровень чернил в котором, а также положение баллона влияют на качество записи.

Круговой диаграммный диск вращается механизмом привода 9, в качестве которого применяются синхронные двигатели или меха-

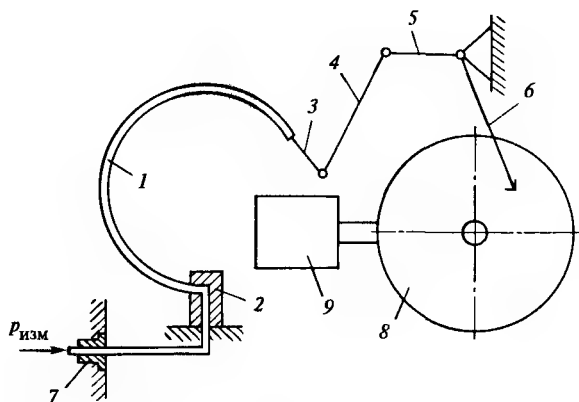


Рис. 6.1. Схема самопишущего манометра:

1 — трубчатая пружина, 2 — держатель, 3 — наконечник, 4 — тяга, 5 — кривошипно-шатунный механизм, 6 — стрелка-перо, 7 — подводящий штуцер, 8 — круговой диаграммный диск, 9 — механизм привода диаграммного диска

низмы часового типа. Механизм привода часового типа обеспечивает автономное функционирование прибора в течение не менее 8 сут.

Самопишущие манометрические приборы типа МТС подключаются к сети переменного тока напряжением 220 В.

Устройства производятся для измерений давлений от – 60 кПа до 250 МПа с классами точности от 1,5 до 0,6.

6.2. Автономные регистрирующие устройства

Одним из наиболее типовых решений при регистрации параметра является метод использования измерительных преобразователей давления с выходным унифицированным электрическим сигналом. В этих вариантах в качестве вторичных приборов, обеспечивающих регистрацию, применяются измерители тока или напряжения.

В теплоэнергетике, например, наибольшее распространение получили такие регистрирующие устройства, как аналоговые автоматические приборы электромеханического следящего уравнивания различных серий, включая миниатюрные КС1 (ширина шкалы 100 мм), малогабаритные КС2 (160 мм) и КС3 (диаметр диаграммы 250 мм), нормально габаритные КС4 (ширина диаграммы 250 мм). Эти приборы предназначены для измерения и регистрации на бумажном носителе постоянного тока и напряжения, а

также различных неэлектрических параметров, включая манометрические, преобразованные в электрические параметры постоянного тока.

По виду входного принимаемого сигнала (тока и напряжения) приборы серии КС делятся на следующие:

- потенциометры, маркируемые как КСП и предназначенные для измерения постоянного напряжения и тока, работающие в комплекте с датчиками ЭДС (например, термоэлектрические термометры);
- потенциометры КСУ, измеряющие и регистрирующие постоянный ток и напряжение унифицированных параметров.

В основу работы прибора КСУ при измерении тока положен принцип измерения падения напряжения на резисторе. Этот блок включен в компенсационную схему измерительного моста. Другое плечо моста соединено с движком реохорда, обеспечивающим уравнивание измерительной схемы. Таким образом, ток от датчика, проходя через резистор, создает падение напряжения на нем, которое сравнивается с падением напряжения на реохорде. При увеличении измеряемого тока и появлении разбаланса напряжения на выходе измерительной схемы формируется сигнал, воздействующий на уравнивающий двигатель. Ротор двигателя вращает движок реохорда и перемещает его до наступления равновесия схемы. В результате каждому значению измеряемого тока соответствует определенное положение движка реохорда.

Стрелка и перо указателя связаны с положением реохорда. Перемещение последнего автоматически отслеживается, а стрелка и перо отмеряют на шкале прибора значение измеряемого параметра.

У регистраторов серии КС предусмотрены также, в зависимости от модификации, различные сигнализирующие вставки, регулирующие устройства типа позиционного регулятора или задатчика для него, а также реостатные устройства для дистанционной передачи показаний или работы с программаторами. Приборы серии КС относятся к одной из первых серий регистраторов. Принципиальная схема нового устройства изображена на рис. 6.2.

Приборы РП160, как и регистраторы предыдущей серии, действуют по принципу сравнения двух сигналов постоянного напряжения: входного сигнала напряжения $U_{вх}$ измерительного преобразователя и сигнала обратной связи U_R , подвижного контакта реохорда R .

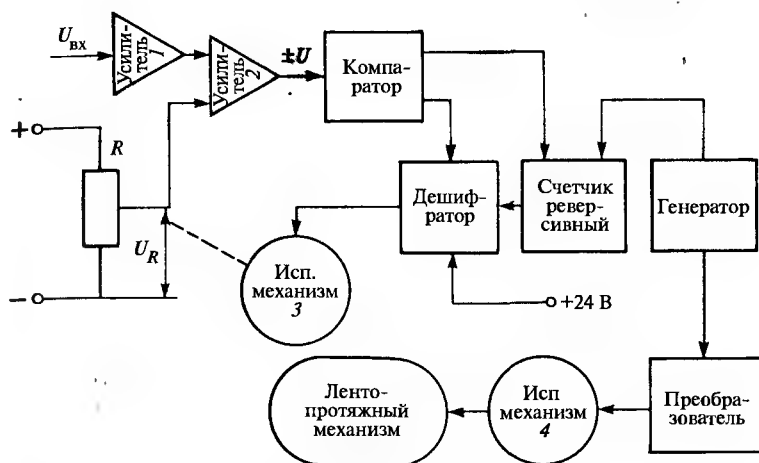


Рис. 6.2. Принципиальная схема регистратора серии РП160

Сигнал измерительного преобразователя $U_{\text{вх}}$, усиленный в усилителе 1, и сигнал обратной связи U_r поступают на вход усилителя 2. Разность этих сигналов подается на вход компаратора, который в свою очередь воздействует на дешифратор и реверсивный счетчик. Таким образом организуется управление через дешифратор исполнительным механизмом 1 следящей системы.

Работу счетчика реверсивного и исполнительного механизма 2 лентопротяжного устройства через преобразователь обеспечивает генератор прямоугольных импульсов, задающий определенную постоянную скорость движения ленты.

Описанные выше приборы могут быть как одно-, так и многоканальными. В некоторых модификациях обеспечивается регистрация 24 автономных каналов.

Новый уровень регистрации давления осуществляется средствами цифровой техники. Преимущество этих устройств заключается в их компактности, возможности изменения масштаба измеряемого параметра и накоплении информации в памяти процессора с последующим представлением в удобной для оператора табличной или графической форме. В этих устройствах применены системы цифровой обработки и представления информации, что обеспечивает высокую точность, а также исключает проблемы, связанные с перьевой записью или печатающим устройством.

6.3. Средства цифровой техники

Активное использование цифровой техники для организации измерений различных физических величин и параметров привело к появлению микропроцессорных и компьютерно-измерительных направлений в измерительных системах.

Микропроцессорные измерительные системы представляют собой набор различных измерительных преобразователей, блоков согласования, систем обработки информации — микропроцессоров, устройств отображения измеряемых величин, подключенных через соответствующие блоки непосредственно к магистрали микропроцессора.

На рис. 6.3 показана схема микропроцессорной системы измерения давления. Измеряемое давление воздействует на чувствительный элемент измерительного преобразователя, на выходе которого формируется электрический сигнал, пропорциональный $P_{изм}$. В аналого-цифровом преобразователе (АЦП) этот сигнал преобразуется в цифровую форму, пригодную для восприятия микропроцессором. Цифровое табло, подключенное к одному из выходов микропроцессора, отображает измеряемое значение давления. К выходу микропроцессора также подключены релейные выходы, обеспечивающие управление сигнализирующими цепями технологических процессов. Другой выход микропроцессора через интерфейс обеспечивает генерирование аналогового или цифрового сигнала по измеряемому давлению.

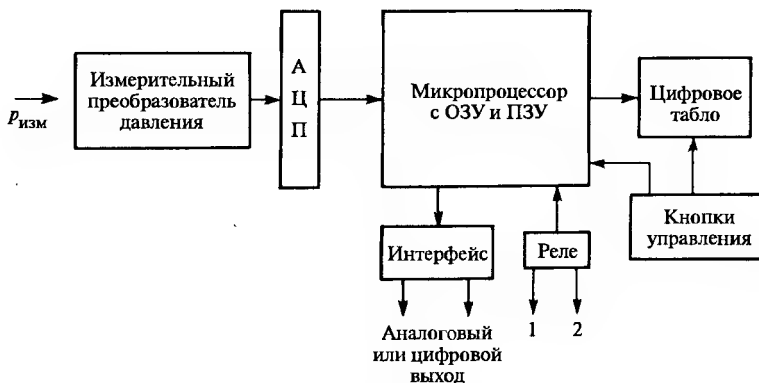


Рис. 6.3. Схема микропроцессорной системы измерения давления

Кнопки управления позволяют выбирать уставки релейных выходов, а также формировать через интерфейс форму и вид выходных сигналов для систем управления.

Отличительная особенность микропроцессорных систем заключается в организации функционирования такого типа приборов по строго заложенной в постоянное запоминающее устройство (ПЗУ) программе.

Использование компьютерной техники в создании измерительных систем позволяет сделать их более гибкими и легко перестраиваемыми. Оператор в большинстве случаев может обратиться к программному обеспечению и изменить настройку измерительной системы.

Такое управление, а также применение цифровой техники обеспечивают проведение точных измерений. Кроме компьютера, в системе используется плата сбора информации, устанавливаемая обычно в слоты ISA или PSI, или внешнее устройство, включаемое через LPT-порт. Плата соединяется с первичными измерительными преобразователями. Установка дополнительного оснащения должна сопровождаться соответствующим программным обеспечением, позволяющим организовать связь, питание и получить информацию об измеряемом параметре.

Качество работы измерительного канала определяется техническими характеристиками платы, к которым относятся разрядность и тактовая частота аналого-цифрового преобразователя, показатели скорости срабатывания и погрешности преобразовательного блока. В значительной мере на характеристики измерительного канала может оказывать влияние программное обеспечение (оптимальность его алгоритмов, уровень организации функционирования, удобство управления сбором и отображением информации на дисплее персонального компьютера).

Программа управления измерительным каналом может формировать на экране дисплея как панель традиционного прибора измерения давления со всеми переключателями, так и, например, визуальный вид объекта со шкалой измеряемого параметра.

Включение измерительного канала на компьютере осуществляется с клавиатуры или «мышкой».

Компьютерно-измерительные каналы, отличающиеся практически неограниченными возможностями в обработке сигналов измеряемых параметров, их графическом представлении, обеспечивают минимальную погрешность при высокой скорости обработки. Такие каналы могут производить определение различных до-

полнительных характеристик измеряемого параметра (например, скорость увеличения или уменьшения давления, статистику размеров максимальных или минимальных выбросов рабочей величины), представлять усредненные измерения, составляющие погрешностей и т.п. Информация, заносимая в память компьютера с частотой, например 10^{-4} с, позволяет низко динамичные промышленные технологические процессы представлять как непрерывную запись. Любой участок этой записи может быть затребован с магнитного или оптического носителя компьютера и представлен в разных масштабах, что особенно актуально для измерений давлений на энергетических установках в критических режимах.

Измерительные каналы на базе цифровой техники могут формировать, как это проиллюстрировано ниже, выходные сигналы для измерительных блоков и систем автоматического управления.

Таким образом, компьютерно-измерительные системы имеют следующие преимущества:

- практически неограниченные возможности в решении прикладных задач измерений, таких как сбор информации с датчиков в любой последовательности и с желаемой скоростью опроса, управление технологическими процессами и промышленными агрегатами, а также разработки программного обеспечения для конкретных задач измерений;
- подключение различных устройств и возможность организации документирования результатов измерений в различных табличных формах и графическом оформлении;
- передачу результатов измерений по локальным и глобальным компьютерным сетям, как это имеет место в сети Internet, и др.

Схема компьютерно-измерительной системы, обеспечивающей управление техническим объектом, приведена на рис. 6.4. Получение информации о состоянии технического объекта, параметров его рабочего тела, в частности давления, осуществляется через измерительные преобразователи. Сбор информации обеспечивается мультиплексорами выходами, связанными с аналого-цифровыми преобразователями. Процессор с помощью компьютерной шины воспринимает информацию измерительных преобразователей от АЦП, обрабатывает ее согласно заложенному программному обеспечению, а также указаниям, поступающим с клавиатуры или «мыши». Результаты иллюстрируются на дисплее и могут представляться на бумажном носителе посредством печатающих устройств — принтеров.

На основании заданного алгоритма действий процессор принимает решения и выдает команды действий на цифроаналоговый преобразователь (ЦАП). ЦАП через демультимплексор формирует

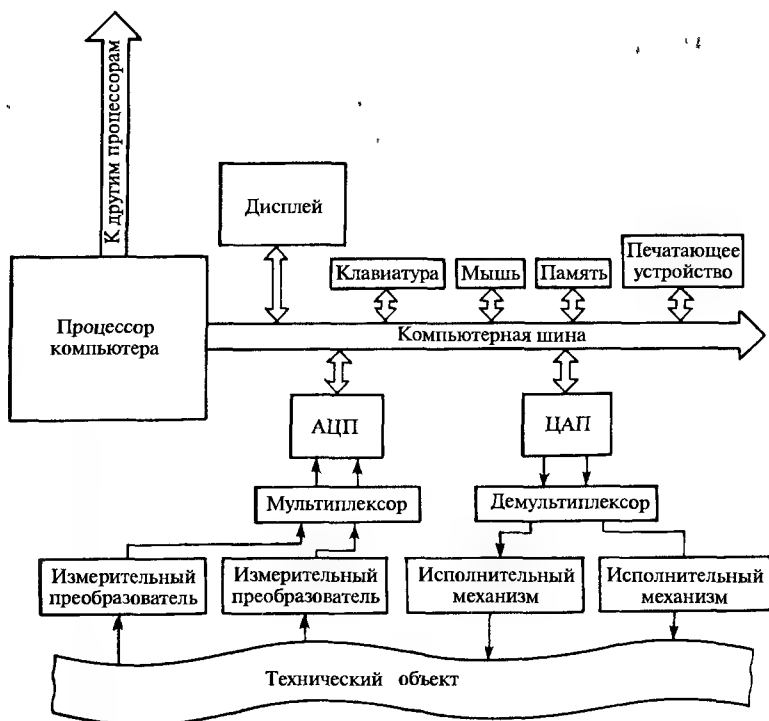


Рис. 6.4. Схема компьютерно-измерительной системы, обеспечивающей управление техническим объектом

сигнал команды для исполнительного механизма технического объекта. Результаты воздействия на исполнительный механизм, а также результаты других различных возмущающих воздействий отслеживаются измерительными преобразователями.

Применение цифровой техники в измерениях открывает совершенно новые возможности. Экономичность такого технического решения, обусловленная значительно меньшими затратами на плату сбора данных и программное обеспечение, повышение надежности по сравнению со стоимостью традиционных измерительных приборов, приводит к актуальности замены существующего приборного парка. Широкие возможности в обработке и представлении информации предопределяют будущее за измерителями на базе цифровой техники.

7 ОСНОВЫ ПОВЕРКИ И РАБОЧИЕ ЭТАЛОНЫ

7.1. Основные положения поверки и калибровки

Поверка средств измерений, как регламентирует РМГ 29-99 [6], — это установление органом государственной метрологической службы (или другим официально уполномоченным органом, организацией) пригодности средства измерений к применению на основании экспериментально определяемых метрологических характеристик и подтверждения их соответствия установленным обязательным требованиям.

Поверки подразделяют на первичные, периодические, внеочередные, инспекционные и экспертные [27].

Первичной поверке подвергаются все изготовленные средства измерения на выходе с производства или поступающие из ремонта, а также импортированные из страны, с которой отсутствует соглашение о взаимном признании результатов государственных испытаний и поверки. При отсутствии такого соглашения приборы измерения подлежат государственным испытаниям с последующим утверждением их типа.

Периодической поверке подлежат те измерительные средства, у которых истекает межповерочный интервал или которые вводятся в эксплуатацию после хранения.

Под межповерочным интервалом подразумевается время, в течение которого действительны результаты поверки. Межповерочный интервал устанавливается государственным метрологическим органом при утверждении типа устройства. Периодической поверке не подлежат только средства измерения, находящиеся на длительном хранении.

Внеочередную поверку проводят при утрате свидетельства о поверке, повреждении знака поверительного клейма, после предполагаемого ударного воздействия или появления признаков неудовлетворительной работы прибора, ввода в эксплуатацию после длительного хранения (более одного межповерочного интервала), отправки потребителю средств измерений, не реализованных по истечении срока, равного половине межповерочного интервала.

Инспекционная поверка имеет место при осуществлении государственного надзора или ведомственного контроля за состоянием и применением средств измерений, а также при их контроле на серийном производстве.

Экспертная поверка проводится при спорных вопросах по метрологическим характеристикам, исправности и пригодности применения средств измерений.

Поверку средств измерений проводят органы государственной метрологической службы, возглавляемые Госстандартом и аттестованные на право государственной поверки, а также подразделения метрологической службы предприятий, организаций и учреждений иной ведомственной принадлежности, которым предоставлено право поверки Госстандартом.

Метрологические службы предприятий, производящих поверку собственных средств измерений, могут быть не аккредитованными, но должны регистрироваться в органах Государственной метрологической службы.

Поверке могут подвергаться только средства измерений с утвержденным типом (см. Прилож. 1). Решение об утверждении типа принимается Госстандартом России и удостоверяется сертификатом об утверждении типа средств измерений на основании, как это регламентирует ПР 50.2.009-94 [28], проведенных испытаний (ранее применялся термин государственных приемочных или контрольных испытаний). Утверждение типа с выдачей соответствующего сертификата может проводиться как на серийно выпускаемую модель средства измерения, так и на отдельную партию приборов, произведенную или ввезенную из-за границы.

Измерительные средства единичного производства или ввозимые единичными экземплярами из-за границы могут быть узаконены путем метрологической аттестации (см. Прилож. 1) с выдачей соответствующего свидетельства о метрологической аттестации.

Перечень средств измерений, подлежащих государственному метрологическому контролю и надзору, которые подвергаются поверке при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту и эксплуатации, приведен в МИ 2273-93 [29]. Основные области деятельности, на которые распространяется обязательность государственной поверки используемых средств измерений, следующие:

- торговые операции и взаимные расчеты между покупателем и продавцом, в том числе на операции с применением игровых автоматов и устройств;

- здравоохранение, ветеринария, охрана окружающей среды, обеспечение безопасности труда;
- обеспечение обороны государства;
- испытания и контроль качества продукции в целях определения соответствия обязательным требованиям государственных стандартов Российской Федерации;
- производство продукции, поставляемой по контрактам для государственных нужд в соответствии с законодательством Российской Федерации;
- обязательная сертификация продукции и услуг;
- государственные учетные операции; банковские, налоговые, таможенные и почтовые операции; геодезические и гидрометрические работы; измерения, проводимые по поручению органов суда, прокуратуры, арбитражного суда, государственных органов управления Российской Федерации, регистрация национальных и международных спортивных рекордов.

Результатом поверки является [30]:

- подтверждение пригодности средств к применению. В этом случае на него (чаще всего на стекло прибора) и (или) техническую документацию наносится оттиск поверительного клейма и (или) выдается Свидетельство о поверке. Поверительное клеймо — знак установленной формы, наносимый на средства измерения, признанные в результате поверки годными к применению;
- признание средств измерений непригодными к использованию. В этом случае оттиск поверительного клейма и (или) Свидетельство о поверке аннулируются и выписывается Свидетельство о непригодности.

Форма поверительного клейма устанавливается Госстандартом России (ПР 50.2.007-94 [31]). На клейме должны содержаться дата проведения поверки (квартал и год), номер регистрационного удостоверения лаборатории на право поверки, идентификационный номер поверителя. В некоторых странах СНГ дополнительно к клейму (у некоторых — вместо него) на стекло манометра наклеивают бумажную этикетку с номером аккредитованной лаборатории и отметкой даты поверки.

Поверка измерительных средств может проводиться:

- в стационарных и передвижных поверочных лабораториях;
- в постоянно или временно действующих специальных поверочных пунктах;
- на месте изготовления или эксплуатации средств измерений.

Средства измерений, согласно Закону Российской Федерации «Об обеспечении единства измерений» [5], не подлежащие поверке, могут подвергаться калибровке при выпуске из производства или ремонта, при ввозе по импорту, при эксплуатации, прокате и продаже.

Калибровка средств измерений (калибровочные работы) — совокупность операций, выполняемых в целях определения и подтверждения действительных значений метрологических характеристик и (или) пригодности к применению средства измерений, не подлежащего государственному метрологическому контролю и надзору [32].

Результаты калибровки позволяют определить действительные значения измеряемой величины, показываемые средством измерения, или поправки к его показаниям, или оценить погрешность этих средств. При калибровке могут быть определены и другие метрологические характеристики.

Возможность аккредитации метрологических служб предприятий на право проведения калибровочных работ более реалистична по сравнению с правом на проведения поверки, где государственные метрологические службы проводят достаточно строгую политику в делегировании своих прав. И хотя аккредитация на право калибровки более доступна промышленным предприятиям, процесс калибровки предъявляет очень высокие требования к профессиональной подготовленности специалистов, выполняющих калибровку средств измерений. Это обусловлено тем, что непосредственно процесс калибровки гораздо сложнее, нежели разделение средств измерений на вошедших и не вошедших в заявляемый класс точности, а «определение и подтверждение действительных значений метрологических характеристик» требуют определенного опыта работы в этой области.

Известные автору существующие документы не в полной мере определяют четкие границы между необходимостью проведения поверки или калибровки. Не отмечается ясности позиций и у промышленных предприятий.

Интересен опыт зарубежных стран, где основная политика метрологии на предприятиях проводится техническими службами самого предприятия. Технические руководители предприятия сами устанавливают необходимость дополнительной поверки или калибровки, так как в большинстве случаев измерительные средства во многих странах выпускаются без клейма поверки или калибровки и государственная поверка встречается очень редко.

Калибровка средств измерений производится метрологическими службами юридических лиц с использованием эталонов, соподчиненных государственным эталонам единиц величин.

Результаты калибровки средств измерений удостоверяются калибровочным знаком — клеймом [31], наносимым на средство измерений, или сертификатом о калибровке (см. Прилож. 1), а также записью в эксплуатационных документах.

Способы нанесения калибровочных клейм могут быть следующими: ударный, давление на пломбу или нанесение специальной мастики, наклейка клейма в виде деколей, электрографический, электрохимический и др.

Форма калибровочных клейм метрологических служб предприятий, аккредитованных на право проведения калибровочных работ, устанавливается: прямоугольная — для средств измерений, выпускаемых из производства; квадратная — для средств измерений, находящихся в эксплуатации и после ремонта.

На клейме должны быть указаны условный шифр подразделения, проводившего калибровку, индивидуальный знак калибровщика, квартал и год проведения калибровки.

7.2. Рабочие эталоны давления

Эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью и признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства, называется *государственным первичным эталоном* [6].

Актуальной для измерения давления является ситуация, когда одним первичным эталоном технически нецелесообразно обслуживать весь диапазон измеряемой величины — от паскалей до мегапаскалей. В этом случае создают несколько первичных эталонов, охватывающих весь получивший на практике диапазон применения.

Исходный эталон — это эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в данной лаборатории, организации, на предприятии), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся средствам измерений [6].

Для каждого государственного уровня имеется свой исходный эталон. Так, исходным эталоном в стране служит первичный эталон, исходным эталоном для республики, министерства, предприятия может служить вторичный или рабочий эталон.

Эталоны по точности воспроизведения ниже исходного называют *подчиненными эталонами*.

Как отмечалось в § 1.3, в нашей стране в целях упорядочения терминологии и приближения ее к международной термин *образцовое средство измерений* заменен на термин *рабочий эталон*.

Рабочий эталон — это эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений [6].

Рабочие эталоны подразделяют на разряды (1, 2, 3-й), как это было принято для образцовых средств. Соответственно размер единицы от последнего рабочего эталона передают рабочему средству измерений.

7.2.1. Грузопоршневые манометры

Грузопоршневые манометрические приборы могут использоваться как рабочие эталоны давления для поверки различных типов манометров, вакуумметров, мановакуумметров и т.п., так и в качестве самостоятельных измерителей давления от достаточно больших разрежений до избыточных в тысячи мегапаскалей. Возможность определения площади торца поршня измерительной колонки и массы уравнивающих грузов с малой погрешностью обеспечивает класс точности этих приборов в пределах 0,05—0,02. Класс точности некоторых зарубежных устройств достигает значения 0,0015.

Принцип работы грузопоршневого манометра основан на удержании цилиндра в поршне в определенном положении, когда с разных сторон на этот поршень действуют измеряемое давление и калиброванные грузы. По массе данных грузов судят о значении измеряемого давления.

Если принять площадь поперечного сечения торца поршня как S , а массу груза, действующего на этот поршень, как G , то измеряемое давление $p_{\text{изм}}$ может быть с погрешностью определено по следующей формуле:

$$p_{\text{изм}} = G/S. \quad (7.1)$$

На практике реальное значение площади поперечного сечения S не может определяться геометрическим расчетом. Приведенная площадь $S_{\text{пр}}$ отличается от геометрической расчетной S на коэффициент учета вязкого трения рабочей жидкости в зазоре поршень—цилиндр. На производстве приведенная площадь поршня $S_{\text{пр}}$ наиболее часто определяется экспериментальным методом гидростатического уравнивания поршней рабочего и эталонного приборов и внесением поправки на соотношение массы грузов на обеих тарелках.

Масса грузов для грузопоршневых манометров рассчитывается по выражению:

$$m = 10^6 (1 + \rho_v/\rho_m) S_{\text{пр}} p / g \text{ (для измерения в Па)}, \quad (7.2)$$

или

$$m = (1 + \rho_v/\rho_m) S_{\text{пр}} p g_H / g \text{ (для измерения в кгс/см}^2\text{)}. \quad (7.3)$$

Здесь $g_H = 9,80665 \text{ м/с}^2$ — значение нормального ускорения свободного падения; g — значение ускорения свободного падения на широте, на которой производятся измерения; $S_{\text{пр}}$ — приведенная площадь поршня, м^2 в (7.2) и см^2 в (7.3); ρ_v и ρ_m — плотность воздуха и условная плотность материала грузов соответственно ($\rho_v = 1,2 \cdot 10^{-3} \text{ г/см}^3$; $\rho_m = 8,0 \text{ г/см}^3$); p — давление, которое необходимо достичь под поршнем, МПа в (7.2) и кгс/см^2 в (7.3).

Обычно значения p при производстве измерительных приборов наносятся непосредственно на грузы, т.е. каждый груз соответствует на этом приборе определенному значению номинального давления.

Номинальное давление p , обозначаемое на грузах, действительно для широты производителя. Производитель должен уточнять действительное значение g и корректировать массу грузов, или пользователь обязан самостоятельно вводить поправку массы груза Δp с учетом географической широты

$$\Delta p = p(g/g_H - 1). \quad (7.4)$$

Выражения (7.2) и (7.3) действительны при температуре окружающей среды $20 \pm 5^\circ \text{C}$. При отклонении от этой температуры до значения t создаваемое поршнем с грузами давление должно корректироваться по следующей формуле:

$$\Delta p_t = p(20 - t)3 \cdot 10^{-5}. \quad (7.5)$$

Наиболее распространенными грузопоршневыми манометрическими приборами отечественного производства являются устройства, перечисленные в табл. 7.1.

Основным рабочим элементом грузопоршневого манометра является измерительная колонка (рис. 7.1). От качества ее изготовления, точности и чистоты соприкасающихся поверхностей зависит погрешность измерения. Зазор пары поршень—цилиндр не должен превышать $(3-5) \cdot 10^{-6} \text{ м}$.

Таблица 7 I

Основные технические характеристики грузопоршневых манометрических приборов

Тип прибора	Верхний предел измерения, МПа	Площадь поршня, см ²	Рабочая жидкость
МВП-2,5	0,25 (избыточное) 0,095 (вакуум)	0,5; 1; 1	Масло трансформаторное
МП-2,5	0,25	1	Керосин-масло трансформаторное
МП-6	0,6	1	Масло трансформаторное
МП-60	6	0,5	«
МП-250	25	0,2	«
МП-600	60	0,05	Масло касторовое
МП-2500	250	0,05	«

Главная рабочая пара измерительной колонки — калиброванный поршень 1 с притертым цилиндром 2. Точность подгонки проходного отверстия цилиндра к калиброванному диаметру поршня обеспечивает соответствующий класс измерений всего прибора. Грузоприемная тарелка 3, являющаяся неотъемлемой частью поршня, и цилиндр имеют собственные номера, обеспечивающие учет и исключающие замену в процессе поверки и обслуживания прибора.

Калиброванный цилиндр размещается в корпусе 4. Герметичность такой установки достигается с помощью резинового кольца 5 и уплотнения цилиндра прижимной гайкой 6. Поршень имеет в цилиндре и соответственно в корпусе свободный вертикальный ход, который ограничивается упором 7, выполненным в виде винта в прижимной гайке.

При работе измерительной колонки возможно просачивание рабочей жидкости между поршнем и цилиндром. Излишки этой жидкости через отверстие 8 удаляются в маслобсорник 9, установленный с помощью резьбы на корпусе 4 и уплотненный кольцом 10.

Измерительная колонка работает следующим образом. Среда измеряемого давления поступает снизу и действует на поршень, вызывая его подъем — вертикальное перемещение вверх. Для уравнивания этого воздействия и возврата поршня в начальное положение на тарелку накладывают калиброванные грузы. Обязательным является положение поршня, в котором специальная

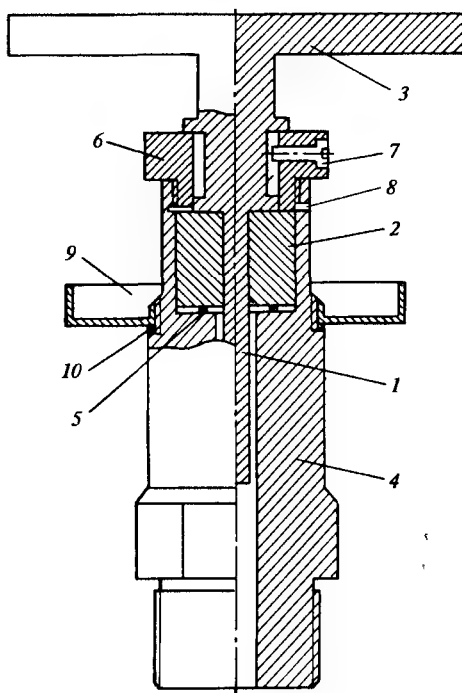


Рис. 7.1. Измерительная колонка:

1 — поршень, 2 — калиброванный цилиндр, 3 — грузоприемная тарелка, 4 — корпус, 5 — резиновое кольцо, 6 — прижимная гайка, 7 — упор, 8 — сливное отверстие, 9 — маслосборник, 10 — уплотнительное кольцо

кольцевая метка, нанесенная на верхней его части, должна находиться на одной плоскости с верхней образующей прижимной гайки. При этом для уменьшения трения между поршнем и цилиндром поршню придают, обычно по часовой стрелке, вращательное движение. Цель такого вращения — исключение сухого трения, снижающего точность измерения, а во многих случаях приводящего к невозможности дальнейшего использования прибора. Сухое трение устраняется рабочей жидкостью, проникающей в зазор между цилиндром и поршнем при вращении тарелки.

Круговое вращение поршня-тарелки может осуществляться как вручную, так и автоматически с помощью специального устрой-

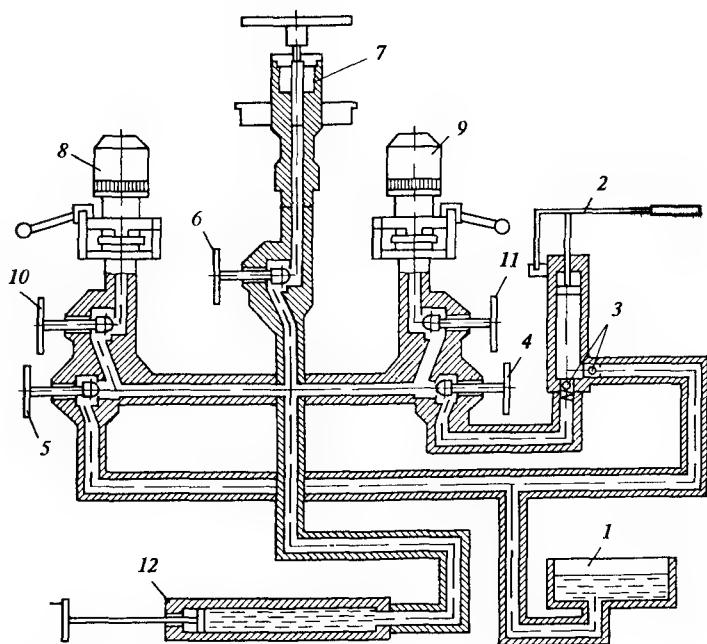


Рис. 7.2. Принципиальная схема грузопоршневого манометра:

1 — масляный бачок, 2 — ручной скальчатый насос, 3 — обратные шариковые клапаны, 4, 5, 6 — вентили подвода, слива и измерительной колонки соответственно, 7 — измерительная колонка, 8, 9 — зажимы, 10, 11 — вентили поверяемых манометров, 12 — пресс

ва. Рекомендуемая скорость вращения поршня-тарелки — 30—120 об/мин.

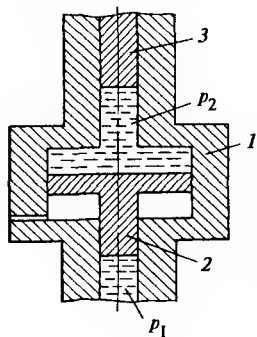
На рис. 7.2 приведена принципиальная схема грузопоршневого манометра типа МП-6—МП-600, работающего в поверочной системе.

Рабочая жидкость заливается в масляный бачок 1 и ручным скальчатым насосом 2 закачивается в гидросистему прибора. Ручной насос с помощью обратных шариковых клапанов 3 забирает рабочую жидкость из масляного бачка и закачивает ее в гидросистему. При достижении определенного давления в системе прибора перекрывается запорный вентиль подвода 4. При этом вентиль слива 5 находится в закрытом состоянии и открывается при необ-

ходимости снижения давления. В состоянии, когда в системе создано давление, открывается вентиль 6 измерительной колонки 7, что обеспечивает ее ввод в работу. С помощью зажимов 8 и 9 подключаются поверяемые манометры и открываются вентили 10 и 11. Таким образом, измерительная колонка и поверяемые манометры, устанавливаемые в зажимах, находятся под одинаковым давлением. Измерительная колонка 7 отслеживает с высокой точностью давление, создаваемое в гидросистеме прибора, и индуцирует его в нормированных грузах. По массе грузов определяется задаваемое давление, по которому определяют погрешность поверяемых манометров. Пресс 12 обеспечивает «тонкую» регулировку давления в системе грузопоршневого манометра.

Порядок запуска в работу грузопоршневого манометра следующий. На основании прибора монтируется измерительная колонка со снятым поршнем. В масляный бачок при открытом вентиле подвода заливается рабочая жидкость (трансформаторное масло и др.), которая ручным скальчатым насосом закачивается в систему. Индикатором заполнения системы и исключения нахождения в ней воздуха служит переток масла из верхней образующей измерительной колонки в маслосборник. После этого устанавливается поршень измерительной колонки. Открываются вентили поверяемых манометров. Вытеснение воздуха из участка зажимов достигается вращением маховика прессы до появления рабочей жидкости в зажимах. (Воздушные пузырьки должны отсутствовать.) Проверка функционирования грузопоршневого манометра достигается вращением тарелки с поршнем измерительной колонки. Поршень с тарелкой должны свободно вращаться и иметь свободный ход вдоль оси цилиндра.

В табл. 7.2 приведены технические параметры грузопоршневых манометров, по которым определяют их пригодность для применения в качестве эталонных.



В грузопоршневых манометрах с рабочим давлением выше 250 МПа для исключения деформации поршня под воздействием больших грузов применяется мультипликатор, схема которого показана на рис. 7.3.

Рис. 7.3. Схема мультипликатора:

1 — корпус, 2 — поршень трансформирующий, 3 — поршень измерительной колонки

Таблица 7 2

Критерии работоспособности грузопоршневых манометров

Тип прибора	Рабочий ход поршня, мм	Максимальная скорость опускания поршня, мм/мин		Минимальная продолжительность вращения поршня, мин	
		Класс точности 0,02	Класс точности 0,05	Класс точности 0,02	Класс точности 0,05
МП-2,5	8	0,5	0,8	3	2
МП-6	8	0,5	0,8	3	2
МП-60	15	0,2	0,5	3	2
МП-250	15	0,4	0,5	5	3
МП-600	15	0,3	0,5	5	3
МП-2500	15	0,3	0,5	5	3

В корпусе 1 установлен трансформирующий поршень 2. Измеряемое максимальное давление p_1 действует на торец с малой площадью S_1 поршня 2. Создаваемое давлением p_1 усилие через площадь S_1 передается на другой торец этого поршня с большей площадью S_2 . Усилие, развиваемое этим торцом, приводит к появлению по другую сторону поршня давления p_2 . Взаимосвязь этих параметров можно выразить с помощью следующих выражений:

$$p_1 S_1 = S_2 p_2 \quad (7.6)$$

или

$$p_2 = p_1 S_1 / S_2 = p_1 (D_1 / D_2)^2. \quad (7.7)$$

Здесь D_1 и D_2 — диаметры малого и большого торцов поршня.

Таким образом, максимальное давление p_1 с помощью поршня трансформируется в давление p_2 . При этом p_2 становится меньше p_1 во столько раз, во сколько площадь S_2 превышает площадь S_1 . В мультипликаторах грузопоршневых манометров наиболее часто это соотношение принимается равным 1/330. Например, измеряемое давление $p_1 = 2100$ МПа. При соотношении $S_1/S_2 = 1/330$ результирующее давление p_2 , воздействующее на поршень 3 измерительной колонки, будет равным только 6,36 МПа.

Класс точности грузопоршневого манометра с мультипликатором в зависимости от качества изготовления может составлять 0,2—0,05.

Несколько иная конструкция грузопоршневых манометров избыточного давления типа МП-2,5 (рис. 7.4). На схеме представлена измерительная колонка 1, в которой для уменьшения трения между поршнем и цилиндром посадочное гнездо выполнено в ви-

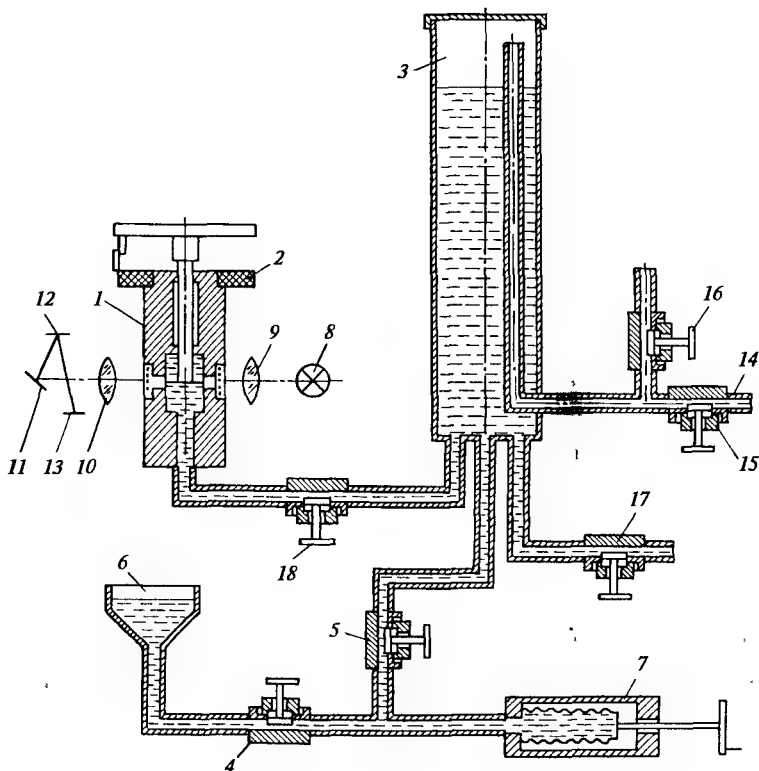


Рис. 7.4. Схема грузопоршневого манометра для измерения малых давлений:

1 — измерительная колонка, 2 — шкив, 3 — вертикальный резервуар, 4, 5 — подводящие вентили, 6 — воронка, 7 — сильфонный пресс, 8 — источник света, 9 — линза, 10 — микрообъектив, 11, 12 — зеркала, 13 — проекционный экран, 14 — выход, 15—18 — запорные клапаны

де двух кольцевых выступов шириной по 5 мм, расположенных друг от друга на расстоянии 60 мм.

Вращение поршня с тарелкой осуществляется автоматически с помощью приставки-электродвигателя (на схеме не показана) через шкив 2, установленный через роликовую посадку на цилиндре измерительной колонки. Передача вращения от шкива к грузоприемной тарелке реализуется через пару поводков—упор.

Цилиндрический вертикальный резервуар 3 заполняется рабочей жидкостью через подводящие вентили 4 и 5 от воронки 6 и сильфонного пресса 7.

Рабочей жидкостью прибора служит смесь 50 % трансформаторного масла и 50 % керосина.

Отсчет, а точнее контроль, положения нижней части поршня, реализуется через оптический комплекс, включающий источник света 8, линзу 9, ахроматический микрообъектив 10, два зеркала 11 и 12, проекционный экран 13.

Измеритель давления МП-2,5 работает следующим образом. При отсутствии избыточного давления в резервуаре и грузов на грузоприемной тарелке поддержание поршня, отсчитываемое оптическим комплексом, в нулевом положении обеспечивается поддержанием соответствующего уровня в цилиндрическом вертикальном резервуаре сильфонным прессом. Если после установления равновесия к выходу 14 через клапан 15 подвести среду измеряемого избыточного давления, то для приведения поршня измерительной колонки в первоначальное положение на грузоприемной тарелке необходимо разместить определенное количество грузов. Количество установленных нормированных грузов свидетельствует о значении измеряемого давления.

Отличительной особенностью грузопоршневого мановакуумметра является система двух взаимно уравновешиваемых поршней (рис. 7.5). Дифференциальная измерительная колонка 1 состоит из двух рабочих камер, в которые подводится измеряемая среда. Поршень в колонке имеет два торца воздействия давления: первый — традиционный торец цилиндра, второй — торец дополнительный, меньший диаметр которого равен большему диаметру первого торца. Для характеристики дифференциальной колонки применяют постоянную мановакуумметра $K_{\text{мв}}$, определяемую как

$$K_{\text{мв}} = S_3/S_2, \quad (7.8)$$

где S_2 — эффективная площадь первого традиционного торца; S_3 — то же дополнительного второго торца.

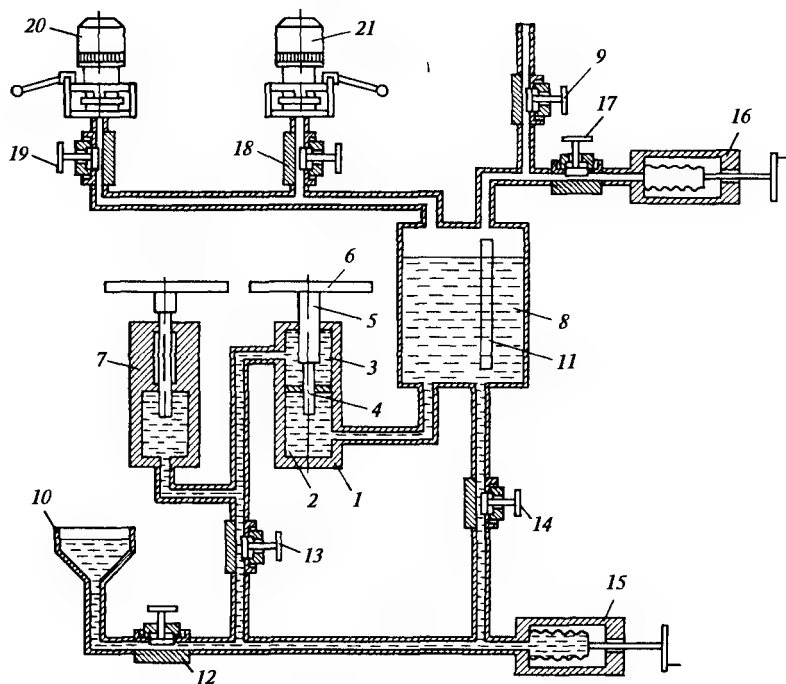


Рис. 7.5. Схема грузопоршневого мановакуумметра:

1 — дифференциальная измерительная колонка, 2 — основная камера, 3 — вспомогательная камера, 4 — основная рабочая часть поршня, 5 — вторая рабочая часть поршня с дополнительным торцом, 6 — грузоприемная тарелка, 7 — моноизмерительная колонка, 8 — разделительный сосуд, 9 — клапан воздушной атмосферы, 10 — воронка, 11 — уровнемерное стекло, 12—14 — запорные клапаны, 15 — сильфонный пресс, 16 — воздушный пресс, 17—19 — запорные клапаны, 20, 21 — зажимы проверяемых манометров

При отсутствии давления в системе, когда объем разделительного сосуда 8 через клапан воздушной среды 9 сообщается с атмосферой, масса грузоприемных тарелок измерительных колонок 1 и 7 подобрана таким образом, что уровневые метки на их поршнях располагаются в одной горизонтальной плоскости. При этом рабочая жидкость — трансформаторное масло через воронку 10 заполняет гидросистему грузопоршневого мановакуумметра до оптимального уровня, который расположен между рисками уровнемерного стекла

11 разделительного сосуда 8 Уровень масла устанавливается с помощью соответствующего манипулирования запорными клапанами 12—14 и регулируется сильфонным прессом 15

Воздушный пресс 16 через запорные клапаны 17—19 устанавливает давление воздуха, подаваемого к зажимам поверяемых манометров 20 и 21

При работе грузопоршневого мановакуумметра как измерителя контролируемое давление через клапан воздушной среды подается в верхнюю часть разделительного сосуда Если это давление избыточное, то поршень дифференциальной колонки поднимается, а поршень моноколонки опускается Для восстановления равновесия, возвращения поршней в исходное положение на тарелке 6 дифколонки размещают грузы Масса этих грузов при равновесии системы свидетельствует о значении измеряемого давления, которое может определяться как

$$P_{\text{изм}} = G/S_2 \quad (7.9)$$

Здесь G — масса грузов

При появлении в разделительном сосуде вакуумметрического давления поршень дифколонки опускается, а поршень моноколонки поднимается Соответственно для возвращения поршней в исходное положение загружается тарелка моноколонки, по массе грузов на которой рассчитывается значение измеряемого вакуумметрического давления В этом случае расчетное выражение может быть представлено в следующем виде

$$P_{\text{изм}} = G/S_1(S_3 - S_2)/S_1, \quad (7.10)$$

где S_1 — приведенная площадь торца поршня моноколонки

Грузопоршневой мановакуумметр, как правило, укомплектовывается устройством автоматического принудительного вращения грузоприемных тарелок, что повышает точность проводимых измерений

7.2.2. Приборы серии «Воздух»

Наиболее совершенными современными приборами, которые возможно использовать в качестве рабочих эталонов давления и разрежения, являются датчики серии «Воздух». Эти приборы обеспечивают на своем выходе заданное давление воздушного потока в широком диапазоне параметров состояния — от -1 кПа до 630 кПа

Принцип работы датчиков давления основан на уравнивании поршня, на который снизу действует поток воздуха, а сверху такому перемещению противодействуют специальные грузы

Задатчик давления серии «Воздух» конструктивно выполнен в виде настольного прибора (рис. 7.6). Питание задатчика осуществляется от сети сжатого воздуха, который подводится к клапану питания 1. После этого клапана сжатый воздух направляется в регулятор расхода 2, установленный в корпусе прибора 3, а затем с определенными параметрами поступает во входную емкость 4 и посредством соединительной линии 5 подводится к соплу, образованному ограничителем 6 и вставкой 7. Сжатый воздух с определенными параметрами выходит из сопла и воздействует на сферический поршень 8, стремясь переместить его вертикально вверх. Такому перемещению противодействует грузоприемное устройство 9 с грузами 10, которые воздействуют на сферический поршень сверху и регулированием массы грузов возвращают его в определенное положение. При фиксированных параметрах потока сжатого воздуха в зависимости от массы грузов на грузоприемном устройстве устанавливается зазор между сферическим поршнем 8 и верхним гнездом вставки 7. Величина этого зазора являет-

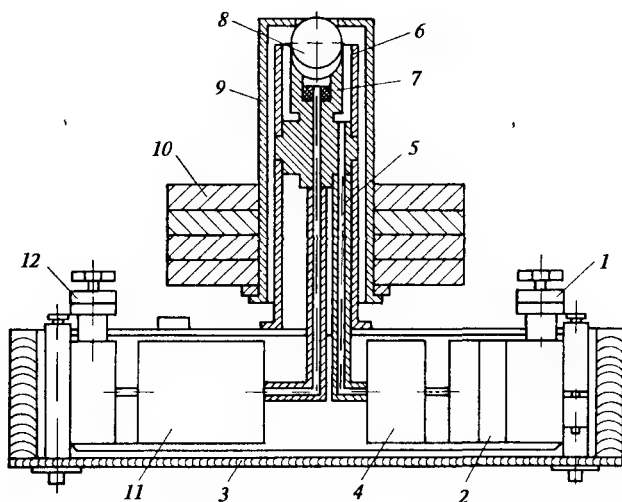


Рис. 7.6. Схема задатчика серии «Воздух»:

1 — клапан питания, 2 — регулятор расхода, 3 — корпус, 4 — входная емкость, 5 — соединительная линия, 6 — ограничитель, 7 — вставка, 8 — сферический поршень, 9 — грузоприемное устройство, 10 — грузы, 11 — выходная емкость, 12 — выходной клапан

Таблица 7.3

Основные параметры датчиков давления серии «Воздух»

Модель датчика	Диапазон задания выходного давления, кПа	Дискретность задания давления, Па	Предел допускаемой основной погрешности	
			Класс точности 0,05	Класс точности 0,02
Воздух-1600-I	0,005—16	5	—	$\pm 0,14$ Па*
Воздух-4000-I	0,005—40			$\pm 0,02$ %
Воздух-1600-II	0,02—16	10—40	—	$\pm 0,1$ Па*
Воздух-4000-II	0,02—40			$\pm 0,02$ %
Воздух-1,6	1—160	250	$\pm 0,05$ %	$\pm 0,02$ %
Воздух-2,5	2,5—250			
Воздух-6,3	10—630			
Воздух-0,4B	-(0,8—40)	100	± 2 Па*	—
			$\pm 0,05$ %	

*Погрешность зависит от диапазона измерения

ся определяющим фактором значения давления сжатого воздуха в выходной емкости 11 и соответственно на выходном клапане 12.

Таким образом, масса грузов, устанавливаемая на грузоприемное устройство, путем воздействия на поршень преобразуется в пневматический выходной сигнал давления p .

Значение давления на выходе датчика определяется из следующего выражения:

$$p = Mg_M(1 - \rho_v/\rho_M)(F_{эф})^{-1}. \quad (7.11)$$

Здесь M — масса поршня, грузоприемного устройства и грузов; g_M — местное ускорение свободного падения; $F_{эф}$ — эффективная площадь поршня; ρ_v — плотность воздуха; ρ_M — усредненная плотность материала грузов.

Основные параметры производимых датчиков давления серии «Воздух» приведены в табл. 7.3.

7.2.3. Показывающие деформационные приборы

Основой деформационных рабочих эталонов давления служат традиционные трубчатые пружины Бурдона, многовитковые, а так-

же мембраны и мембранные коробки. Особенность производства рабочих эталонов, в отличие от производства промышленных приборов, описанных в гл. 2, заключается в соблюдении более высоких требований, предъявляемых к материалам, технологии изготовления, конструкции, обеспечивающей более точную регулировку.

Рабочие эталоны избыточного давления и разрежения изготавливаются как со шкалами, соответствующими измеряемому диапазону давлений, так и с условными шкалами, т.е. шкала прибора разделена на определенное количество делений с оцифровкой, как это, например, показано на рис. 7.7. К прибору обязательно прилагается переводная таблица, утверждаемая поверочным центром, о соответствии измеряемого давления условным делениям шкалы рабочего эталона. Эталонные приборы со шкалой, соответствующей измеряемому диапазону давления, особенно для классов точности 0,25 и 0,15, требуют более тщательного технологического режима изготовления комплектующих и более трудоемки в настройке.

ГОСТ 8.161-83 регламентирует требования к количеству делений шкалы эталонных манометрических приборов в зависимости от их класса точности и диаметра корпуса (табл. 7.4). Как следует из таблицы, ГОСТ 8.161-83 также предусматривает допустимые границы варьирования показаний при легком постукивании по корпусу манометрического прибора.

На рис. 7.8 для сравнения представлены промышленный и эталонный манометры. Даже по внешнему виду измерительных частей приборов можно заключить, что у эталонного манометра применяется трубчатая пружина, как правило, больших размеров, имеются дополнительные возможности регулирования диапазона шкалы и ее равномерности.

Для изготовления чувствительных элементов эталонных средств измерения применяются сплавы с более высокими характеристиками упругости, к которым, например, относится бериллиевая бронза. Очень хорошими механическими свойствами обладает сталь 36НХТЮ. За рубежом

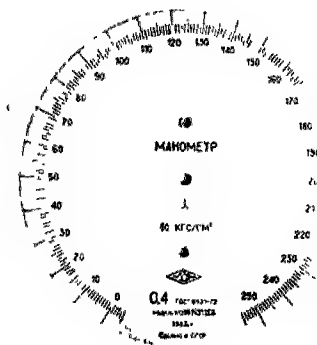


Рис. 7.7. Циферблат эталонного манометра с условными делениями шкалы

Таблица 7 4

**Параметры и допустимые отклонения показаний эталонных
манометрических приборов (в условных единицах согласно ГОСТ 8.161-83)**

Параметры образцового прибора			Пределы допустимых отклонений показаний в условных единицах		
диаметр корпуса, мм	класс точности	число делений шкалы	при поступлении	при максимальном значении шкалы	при -95 кПа
250	0,15	400	0,3	398—402	378—382
		100	0.08	99,5—100,5	94,5—95,5
	0,25	400	0,5	398—402	378—382
		100	0,13	99,5—100,5	94,5—95,5
180 и 200		300	0,4	297—300	282—285
260	0,4				
180		300	0,6	297—300	282—285
200		200	0,4	198—200	188—190
160—250		250	0,5	248—252	235—239
		100	0,2	99—100	94—95
145—150		300	0.6	297—300	282—285
		270	0,5	267—270	254—257

широко применяются железоникелевые сплавы, а также бериллиевая бронза.

При изготовлении передаточного механизма к зубьям сектора и трибки предъявляются повышенные требования. Основными из них являются чистота поверхности зубчатого зацепления и оптимальные размеры профиля зуба.

Приборы, тарируемые на жидкости, при работе в схемах измерения или поверки должны быть также заполнены жидкостью. Схема их заполнения приведена на рис. 7.9. В зажим 1 устанавливается рабочий эталон давления. Разделительный сосуд 2 наполовину заполняется рабочей жидкостью. Клапан 3 открыт. При открытом клапане 4 и закрытом клапане воздушной среды 5 включается вакуум-насос 6 и из разделительного сосуда 2 откачивается воздух. Откачивание производится до тех пор, пока не прекратится появление из жидкости пузырьков воздуха. После этого закры-

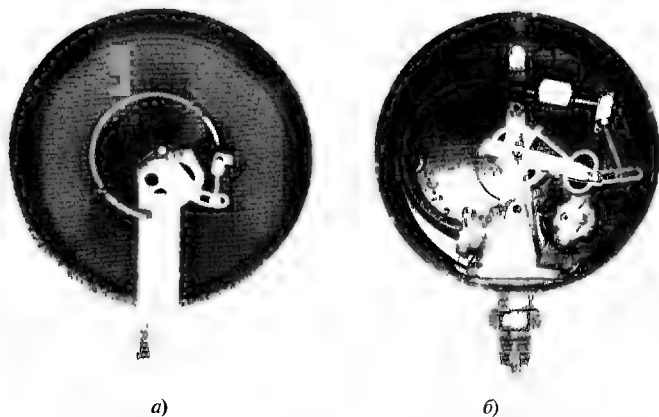


Рис. 7.8. Манометры:

a — промышленный, *б* — эталонный с классом точности 0,4

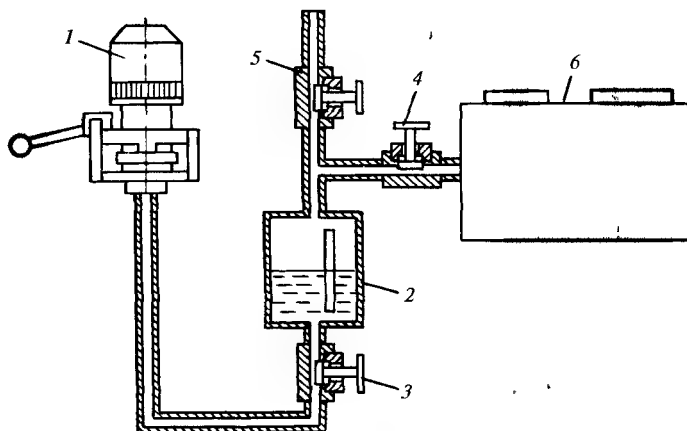


Рис. 7.9. Схема заполнения внутренней полости упругого чувствительного элемента эталонного манометра:

1 — зажим эталонного манометра, *2* — разделительный сосуд с жидкостью, *3* — клапан подвода жидкости, *4* — клапан вакуум-насоса, *5* — клапан воздушной среды, *6* — вакуум-насос

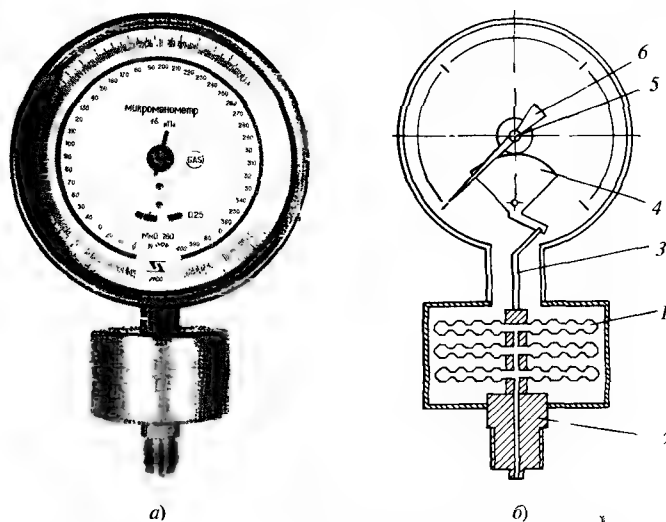


Рис. 7.10. Внешний вид (а) и схема (б) мембранного эталонного измерителя малых давлений:

1 — мембранный блок, 2 — держатель, 3 — шток, 4 — сектор, 5 — трибка, 6 — стрелка

вается клапан вакуум-насоса 4 и открывается клапан воздушной среды 5. Операция должна повторяться 2–3 раза.

В последнее время ряд иностранных и некоторые отечественные компании начали производство эталонных средств измерения малых давлений на основе мембран, мембранных коробок и сильфонов. На рис. 7.10 показаны внешний вид и схема эталонного напоромера классом точности 0,25 для измерения давлений от 0 до 16 кПа. Чувствительный элемент изготовлен в виде трех мембранных коробок, внутренние полости которых соединены между собой. Эти коробки образуют единый мембранный блок 1, который установлен неподвижно на держателе 2. На верхней площадке мембранного блока закреплен шток 3, который в зависимости от прогиба блока и соответственно от значения измеряемого давления перемещается вертикально и передает это движение на рычаг сектора 4, которое, в свою очередь, приводит к осевому перемещению трибки 5 и закрепленной на ней стрелки 6. Таким обра-

зом измеряемое давление посредством изменения геометрических размеров мембранного блока приводит к перемещению стрелки б.

Нормальная рабочая температура для этого прибора соответствует 20 °С. При отклонении температуры окружающего воздуха от этого значения в приборе предусмотрена коррекция нулевой точки. В процессе подготовки к работе с помощью корректора «нуля» стрелка устанавливается на начальное значение, что обеспечивает компенсацию влияния температуры в допустимом диапазоне параметров. Мембранный эталонный измеритель давления работоспособен в температурном диапазоне от -20 до 60 °С.

Приборы этого типа могут применяться для измерений как избыточного, так и вакуумметрического давления газовых сред, т.е. для измерения как напора, так и тяги в диапазоне от -40 до 40 кПа.

Мембранный эталонный измеритель давления, как, впрочем, и другие рабочие эталоны давления из-за недопустимости воздействия на них давлением выше предельно допустимого рекомендуется эксплуатировать в комплекте с предохранительным клапаном, защищающим мембранный блок от необратимых деформаций. Одна из таких конструкций предохранительного клапана приведена в гл. 8.

Транспортировать эталонные деформационные средства следует, предварительно заполнив внутреннюю полость трубчатой пружины или мембранной коробки газом, находящимся под давлением. Причем рекомендуется заполнять внутреннюю полость чувствительного элемента до давления, равного примерно 30 % верхнего предела измерения прибора.

В эталонных средствах измерения должна предусматриваться возможность опломбирования прибора в целях исключения несанкционированного доступа к регулировочным узлам.

7.2.4. Измерительные преобразователи типа ИПД

Измерительные электрические преобразователи давления типа ИПД — одни из наиболее распространенных на территории СНГ эталонных измерительных средств. Изготавливаемые как однодиапазонные с пределами измерения от 0 до 6—100 кПа, так и многодиапазонные от 0 до 6—16 МПа, они обеспечивают классы точности для разных моделей от 0,25 до 0,06.

Многодиапазонные эталонные измерительные комплексы, маркируемые, как правило, ИПД, имеют следующие рабочие диапазоны давлений: 6—16 кПа; 10—25 кПа; -10—25 кПа; -40—100 кПа; 25—63 кПа; 0,1—0,25 МПа; 0,4—1 МПа; 1—2,5 МПа; 2,5—6 МПа; 6—16 МПа.

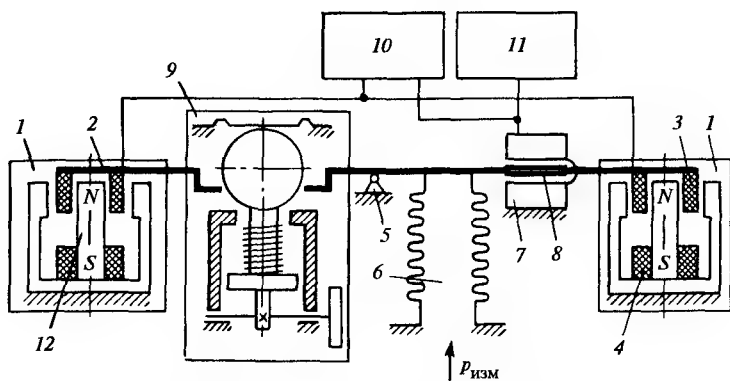


Рис. 7.11. Схема электрического измерительного преобразователя типа ИПД:

1 — силовые механизмы, 2 — балка, 3 — подвижная обмотка, 4 — обмотка коррекции нелинейности, 5 — шарнирная опора, 6 — чувствительный элемент, 7 — индикатор рассогласования, 8 — плунжер, 9 — нагрузочное устройство, 10 — усилитель, 11 — блок резисторов, 12 — постоянный магнит

Выходным сигналом этих приборов служит постоянное напряжение 0—1 В пропорциональное измеряемому давлению. Причем в приборе предусмотрены и корректировка «нулевой» точки, и регулировка диапазона выходного сигнала.

В основу функциональной работы преобразователей типа ИПД положен принцип силовой компенсации. Силовые механизмы 1 (рис. 7.11) установлены на противоположных плечах балки 2. Основу силовых механизмов составляют подвижная обмотка 3 и обмотка коррекции нелинейности 4. Балка балансирует на шарнирной опоре 5. Подвод измеряемого давления производится к чувствительному элементу 6, действующему в зависимости от измеряемого давления $p_{изм}$ на одно из плеч балки. На этой балке также размещен индикатор рассогласования 7 с плунжером 8.

На противоположном конце балки установлено дополнительное нагрузочное устройство 9. Усилитель 10 и блок резисторов 11 служат для управления измерительной схемой и получения унифицированного электрического сигнала.

Устройство работает следующим образом. Измеряемая среда давлением $p_{изм}$ поступает на вход чувствительного элемента, который преобразует его в усилие, действующее на балку. Это

приводит к вертикальному перемещению плеч балки и соответственно к изменению зазора в межплунжерном пространстве индикатора рассогласования. Индикатор преобразует вертикальное перемещение плунжера в управляющий сигнал переменного тока, поступающий на вход усилителя. Выходной сигнал в виде постоянного тока усилителя подается на подвижную обмотку и обмотку коррекции нелинейности обоих силовых механизмов. Одновременно сигнал усилителя направляется на вход блока резисторов, на выходе которого генерируется сигнал постоянного напряжения по значению измеряемого давления. Таким образом ток, поступающий от усилителя, формирует выходной сигнал и одновременно создает в катушках 3 и 4 магнитное поле, взаимодействующее с магнитным полем постоянного магнита 12 и уравнивающее воздействие чувствительного элемента на балку.

Корректировка нуля и регулирование диапазона выходного сигнала производится с помощью нагрузочного устройства 9.

В качестве чувствительного элемента традиционно применяют сильфоны, изготавливаемые из стали 36НХТЮ. Для подводящего штуцера используется сталь Х18Н9Т.

Известны измерительные комплексы ИПДЦ, отличающиеся от описанных выше ИПД блоком индикации, в качестве которого используются цифровые вольтметры Ц304 или другие измерители электрических параметров, имеющие цифровую индикацию и идентичные по классу точности.

Преобразователи, работающие при давлениях до 0,25 МПа, используют в качестве рабочего тела только газ. При более высоких давлениях допускается применение как газа, так и жидкости.

7.3. Основные правила проведения поверки и калибровки

Поверку средств измерения могут проводить только метрологические службы юридических лиц, аккредитованные Госстандартом России на право поверки средств измерений согласно правилам проведения аккредитации [32].

Аккредитацию метрологических служб на право проведения калибровочных работ осуществляют соответствующие аккредитующие органы — государственные научные метрологические центры и органы Государственной метрологической службы, которым делегировано настоящее право на основании требований, изложенных в ПР 50.2.018-95 [34].

Аккредитация может проводиться как метрологической службой, так и ее структурным подразделением — лабораторией поверки или (и) калибровки.

Госстандарт России выдает на право поверки или аккредитующий орган на право калибровки соответствующий аттестат аккредитации с приложением, в котором представляется область аккредитации. Область аккредитации на право калибровки определяет вид измерений, группы (тип) средств измерений или измеряемую величину. Описание области аккредитации на право поверки включает вид поверки (первичная при выпуске из производства, первичная при ввозе по импорту, первичная после ремонта, периодическая), а также содержит наименование групп средств измерений, которые могут поверяться с указанием их метрологических характеристик.

При организации поверки и калибровки особое внимание в первую очередь необходимо уделять следующим факторам: профессиональной подготовленности поверителей и калибровщиков, техническому состоянию рабочих эталонов, условиям проведения поверки или калибровки.

Профессиональная подготовленность поверителей и калибровщиков Поверку могут проводить только специально обученные специалисты, аттестованные в качестве поверителей органами Государственной метрологической службы.

Для проведения калибровки могут привлекаться только специалисты, имеющие профессиональную подготовку и опыт калибровки (поверки) средств измерений в заявленной области аккредитации.

Техническое состояние рабочих эталонов. Метрологические службы, проводящие поверку или калибровку, должны иметь весь набор эталонов и иных средств измерений, а также вспомогательное оборудование, необходимые для проведения поверки или калибровки средств измерений, определенных областью аккредитации. Эталоны должны быть поверены в установленном порядке и должны иметь действующие свидетельства о поверке, а также протоколы поверки. Вспомогательное оборудование должно подвергаться контролю работоспособности в соответствии с требованиями технической документации.

На каждом эталоне и каждой единице вспомогательного оборудования должна быть закреплена этикетка, отражающая их состояние: пригодный к эксплуатации, годный с ограничениями, подлежащий ремонту (этикетку закрепляют на упаковке или ячейке для хранения эталонов или оборудования).

Условия проведения поверки или калибровки. Для проведения поверки или калибровки приняты параметры нормальных условий окружающей среды. Нормальными для определения основной погрешности поверяемого средства измерений согласно ГОСТ 8.395-80 следует считать условия, при которых составляющая погрешности поверяемого прибора от действий различных влияющих параметров в сумме не превышает 35 % предела допускаемой основной погрешности поверяемого измерителя.

В помещениях, где проводится поверка или калибровка, исключаются всякого рода вибрации, тряски. Не допускается подвергать ударам приборы как эталонные, так и поверяемые. Этот параметр контролируется как по частоте (в пределах 0,01—30 Гц), так и по амплитудам виброперемещений (до 0,075 мм) и виброскорости (до 0,02π).

Вблизи приборов не должны находиться отопительные устройства, открытые окна, аэроустановки с холодным воздухом и др.

Эталонные манометрические приборы предназначены для работы при температуре окружающей среды 10—35 °С и относительной влажности до 80 %. Однако для организации поверки необходимо соотносить рабочие условия с «нормальными», номинальные значения которых приведены в табл. 7.5.

При организации поверки в условиях окружающей среды, отличающихся от приведенных в табл. 7.5, необходим ввод попра-

Таблица 7.5

Номинальные значения параметров окружающей среды [ГОСТ 8.395-80]

Влияющая величина		Значение, допускаемое к ограниченному применению в качестве номинального
наименование	номинальное значение	
Температура:		
К	293	273; 90; 4,2
°C	20	23; 25; 27
Атмосферное давление:		
кПа	101,3	100
Па	—	101325
мм рт. ст.	760	750
Относительная влажность, %	60	0; 55; 58; 65

вок, определяемых по методикам, приведенным в описаниях на эталонные и поверяемый приборы.

При поверке приборов с электрическим выходным сигналом особые требования предъявляются к характеристикам внешнего магнитного поля. Нормируются и магнитная индукция постоянного магнитного поля (до $1 \cdot 10^{-6}$ Тл), и его напряженность (до 16 А/м).

При поверке и калибровке манометрических приборов в зависимости от их устройства и класса точности необходимо соблюдать определенные требования. Рассмотрим особенности поверки каждого типа приборов.

Грузопоршневой манометр можно условно разделить на две части: устройство создания давления и измерительная колонка. Для поверки представляются приборы без устройств создания давления, т.е. измерительные колонки в комплекте с грузами. На рис. 7.12 показана схема поверки. На схеме представлены эталонное устройство создания давления, отличающееся от технического тем, что к его установке и условиям эксплуатации предъяв-

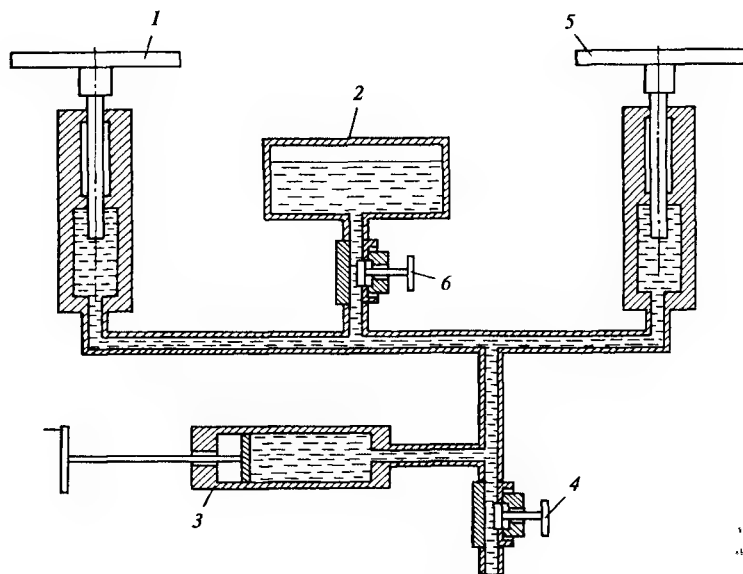


Рис. 7.12. Схема поверки грузопоршневого манометра:

1 — эталонная колонка, 2 — бакоч рабочей жидкости; 3 — пресс, 4 — клапан слива, 5 — поверяемая колонка, 6 — клапан подвода рабочей жидкости

ляются повышенные требования, и эталонная измерительная колонка 1. Устройство создания давления состоит из бачка рабочей жидкости 2, пресса 3 и клапана слива 4. Поверяемая измерительная колонка 5 монтируется на одном горизонтальном уровне с эталонной.

Схема работает следующим образом. При открытом клапане 6 и закрытом клапане 4 прессом рабочая жидкость закачивается в систему создания давления. После ее заполнения закрывается клапан подвода рабочей жидкости 6. Для устранения из системы воздуха поршни эталонной и поверяемой колонок извлекаются из цилиндров и прессом поднимается уровень жидкости в системе до полного заполнения цилиндров. Поршни устанавливаются в свои гнезда, проверяются уровни их кольцевых меток относительно отметок. Поэтапно устанавливаются грузы на эталонной и поверяемой грузоприемных тарелках.

Перед проверкой поверяемую измерительную колонку следует разобрать и промыть в растворителе типа «нефрас». Детали, работающие в контакте с касторовым маслом, промываются спиртом.

Прибор, предназначенный для проверки, для уравнивания с температурой эталонных средств должен находиться в поверяемом помещении не менее 10 ч.

Перед началом проверки проводят внешний осмотр и отбраковывают устройства, в которых отмечается «затирание» поршня в цилиндре, а также грузы, которые при накладывании друг на друга, а также на грузоприемную тарелку заклинивают или деформируются до такого состояния, что не соблюдается параллельность их опорных плоскостей. Предельное отклонение не должно превышать 0,05 мм.

Грузоприемная тарелка должна иметь порядковый номер предприятия-изготовителя. На каждый груз также наносятся номер и нормированное значение давления, которое он вызывает в системе манометра при установке на грузоприемное устройство.

В грузопоршневом манометрическом устройстве проверяют следующие основные параметры:

- горизонтальное положение уровня опорной плоскости грузоприемной тарелки;
- продолжительность свободного вращения поршня;
- скорость опускания поршня;
- порог чувствительности.

Положение грузоприемной тарелки относительно горизонтальной плоскости проверяют в несколько этапов. Предварительно ус-

танавливают поршень измерительной головки в вертикальном положении. Это достигается подгонкой регулировочных винтов станины грузопоршневого манометра. На следующем этапе измеритель горизонтального уровня помещают на грузоприемную тарелку, которую последовательно поворачивают на 90° в четыре положения. При этом допускается перемещение индикатора (пузырька) уровня не более чем на одно деление (1').

Можно проверить горизонтальное положение опорной плоскости грузоприемной тарелки и другим способом. Для этого необходимо жестко скрепить наконечник индикатора линейного перемещения с плоскостью грузоприемной тарелки и медленно ее поворачивать на один оборот. Это обеспечивается при закрытом клапане подвода рабочей жидкости.

Проверка продолжительности свободного вращения поршня (см. табл. 7.2) производится при установке половины максимальной массы грузов. Продолжительность вращения принимают как временной интервал от начальной угловой скорости грузоприемной тарелки в 120 ± 10 об/мин до ее полной остановки. Для каждого типа манометра, согласно ГОСТ 8291-69, определено значение этого параметра. Так, для МП-60 при диаметре грузов 220 мм продолжительность свободного вращения должна быть не менее 3 мин.

Скорость опускания поршня (см. табл. 7.2) контролируют следующим образом. На тарелке устанавливают такое количество грузов, которое обеспечивает верхний предел давления прибора, и перекрывают запорный клапан подвода рабочей жидкости. Опускание поршня отслеживается линейкой с миллиметровыми делениями и соотносится со временем, контролируемым секундомером.

Для проверки порога чувствительности при верхнем пределе измерения поверяемого прибора уравнивают положения поршней сличаемых манометров. Затем на грузоприемную тарелку поверяемого манометра накладывают груз, масса которого строго определена. Так, положение поршня манометра МП-6 класса точности 0,05 должно измениться при грузе массой 0,12 г. В противном случае прибор признается не пригодным для дальнейшей эксплуатации.

Дифференциальные манометры перед началом поверки проверяют на герметичность путем подачи в «плюсовую» камеру избыточного давления, равного предельному номинальному перепаду. «Минусовую» камеру сообщают с атмосферой. Продолжительность выдержки — 10 мин, после чего прекращают подачу давления и выдерживают еще 15 мин. Поверку производят при плавно возрастающем, а затем при плавно убывающем давлении не менее

чем на пяти равномерно разнесенных друг от друга точках, включая отметки 30 и 100 % предельного значения. В качестве эталонных приборов могут использоваться грузопоршневые манометры МП-6 или МП-2,5, эталонные пружинные или жидкостные микроманометры. При этом обязательно соблюдение следующего условия:

$$\Delta_{\text{обр}} \leq 1/4 \Delta_{\text{пов}} \quad (7.12)$$

Здесь $\Delta_{\text{обр}}$ и $\Delta_{\text{пов}}$ — пределы допустимой основной погрешности эталонного и поверяемого приборов.

Возможна поверка при условии

$$\Delta_{\text{обр}} \leq 1/3 \Delta_{\text{пов}}, \quad (7.13)$$

но только при разрешении соответствующей государственной метрологической службы.

Манометры с трубчатой пружиной поверяют при температуре 20 или 23 °С. Допустимое отклонение температуры зависит от класса точности показывающего манометра и составляет: для классов точности 0,4 и 0,6 ± 2 °С, для класса точности 1,0 ± 3 °С. Для приборов с классами точности 1,5; 2,5 и 4 отклонения температуры не должны превышать ± 5 °С. Для эталонных манометров с трубчатой пружиной за нормальную принимают температуру, указанную в паспорте устройства.

Приборы выдерживают в нерабочем состоянии при отмеченной выше температуре от 1 до 12 ч в зависимости от разницы температур воздуха в помещении для поверки и местом, откуда внесен прибор.

Для поверки пружинных манометров может использоваться внешнее устройство для создания давления. Основное требование, предъявляемое к нему, заключается в возможности плавного повышения и понижения давления, а также в стабильном выдерживании его как на промежуточных точках, так и на предельном значении.

На рис. 7.13 показана схема установки для поверки пружинных (эталонного и технического) манометров. Устройство создания давления состоит из пресса 1, резервуара 2, зажимов поверяемого 3 и эталонного 4 манометров, клапанов 5—9, соединительных трубопроводов.

Резервуар содержит необходимый объем рабочей жидкости для функционирования системы, которая при открытом клапане 5 и закрытом клапане слива 6 закачивается прессом в гидросистему установки. После ее заполнения клапан 5 резервуара закрывается,

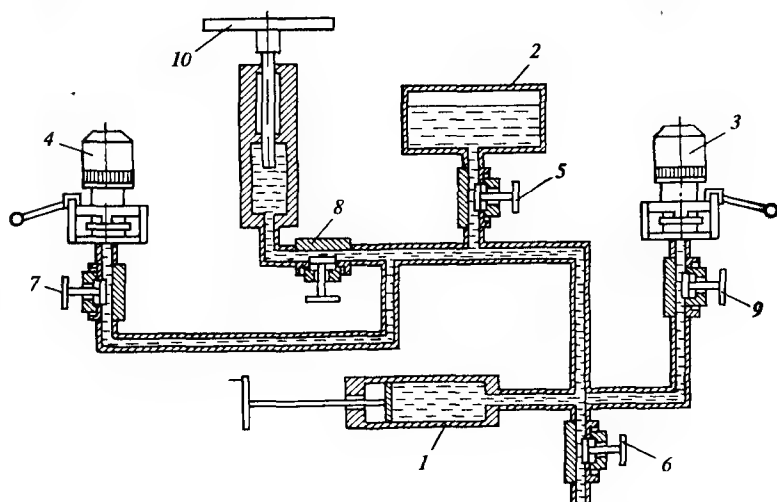


Рис. 7.13. Схема поверки пружинного манометра:

1 — пресс, 2 — резервуар рабочей жидкости, 3 — зажим поверяемого манометра, 4 — зажим эталонного манометра, 5—9 — клапаны, 10 — измерительная колонка

и прессом при открытых клапанах 7—9 в установке поднимается давление. При снятом поршне измерительной колонки 10 из гидросистемы установки удаляется воздух. На следующем этапе возвращают поршень измерительной колонки в исходное рабочее состояние, а в зажим 3 устанавливают поверяемый манометр. Клапан 7 зажима эталонного манометра перекрывают. Схема поверки на основе измерительной колонки грузопоршневого манометра готова к работе. При поверке пружинного эталонного манометра его устанавливают в зажим 4, открывают клапан 7, а клапан 8 подключения измерительной колонки закрывают.

Рабочей жидкостью могут быть как различные масла, так и растворы на основе воды. На некоторых установках применяют воду без добавок. В этом случае появляются проблемы с коррозией внутренних поверхностей, а также с работоспособностью уплотнителей пресса.

При необходимости заполнения внутренней полости чувствительного элемента манометрического прибора жидкостью применяют установку, схема которой показана на рис. 7.8.

При поверке необходимыми требованиями к эталонному манометру являются следующие:

- верхний предел измерения эталонного манометра должен быть не меньше верхнего предела поверяемого, т.е.

$$p_{\text{з}} \geq p_{\text{п}}; \quad (7.14)$$

$$p_{\text{э н}} \leq 0,06 p_{\text{п}}, \quad (7.15)$$

где $p_{\text{з}}$ и $p_{\text{п}}$ — верхние пределы измерений соответственно эталонного и поверяемого приборов; $p_{\text{э н}}$ — нижний предел измерений эталонного прибора;

- класс точности эталонного прибора не должен превышать значения 0,25 класса точности поверяемого.

При поверке эталонного пружинного манометра класса точности 0,15 допускается по согласованию с государственной метрологической службой (как исключение) использование грузопоршневого манометра класса точности 0,05.

Первым этапом поверки, как это детально регламентировано правилами проведения поверки показывающих приборов МИ 2124-90 [35], или калибровки прибора служит внешний осмотр, в результате которого отбраковываются манометры с механическими повреждениями корпуса, присоединительного штуцера, препятствующими присоединению и не обеспечивающими герметичность и прочность соединения, стрелки, стекла, циферблата, влияющих на эксплуатационные свойства.

На втором этапе каждый прибор проверяют на герметичность и качество уплотнения между присоединительным штуцером и гнездом устройства для создания давления. В системе создают давление, соответствующее верхнему пределу измерений поверяемого прибора, и закрывают клапаны подвода рабочей среды. Прибор и уплотнения считают герметичными, если показания его после установления давления в течение 1—2 мин и последующие 3 мин не уменьшаются более чем на 2 % установившегося давления.

Приборы предварительно необходимо выдерживать в течение 5 мин под давлением, равным значению верхнего предела измерений, затем, снизив давление до нуля, корректировать нуль-положение стрелки. Допускается выдерживать вакуумметры под давлением, меньшим верхнего предела измерений, но не менее 0,95 значения атмосферного давления во время проведения поверки.

Поверка манометров с дополнительными шкалами, как, например, фреоновые с температурной шкалой, должна проводиться только по шкале давления. Поверку манометров, не имеющих

шкалы, отградуированной в единицах давления, поверяют только при наличии соотношения приведенных на шкале единиц и единиц давления.

Поверка манометра может производиться одним из следующих способов:

- определенные значения давления задают по эталонному манометру, а отсчет осуществляют по поверяемому;
- прессом устанавливают определенные значения давления по поверяемому манометру, а отсчет производят по эталонному.

Отсчет показаний показывающего манометра при поверке должен проводиться с точностью до 0,1 цены деления. Направление зрения оператора при отсчете показаний должно проходить через конец указательной стрелки перпендикулярно поверхности циферблата. При ножеобразном окончании указательной стрелки направление зрения должно быть в плоскости лезвия ножа.

Поверка манометра реализуется путем плавного подъема давления, остановки в каждой из определенных точек, достижения максимального значения шкалы, 5-минутной выдержки и плавного снижения с фиксированием показаний при тех же значениях давления, что и при повышении давления. Скорость изменения давления не должна превышать 10 % диапазона показаний в секунду. Для технических манометров поверку производят, как отмечалось в § 1.3, по восьми значениям давления для классов точности 0,4 и 0,6 и не менее чем по пяти точкам шкалы — для классов точности 1,0; 1,5; 2,5 и 4,0 с включением нижнего и верхнего предельных значений давления. Эталонные приборы в зависимости от диапазона поверяют на 8—13 точках (табл. 7.6). Поверяемые точки шкалы должны быть равномерно распределены в пределах всего измерительного диапазона прибора. Отсчет показаний поверяемого прибора производят после выдержки под давлением в каждой поверяемой точке шкалы не менее 5 с.

Основная абсолютная погрешность прибора определяется как разница между показаниями поверяемого и эталонного манометров. Эта погрешность, как и разность в показаниях прямого и обратного ходов, не должна превышать значения Δ , соответствующего классу точности для поверяемых приборов из эксплуатационной системы. Как для новых приборов, так и для отремонтированных значение основной абсолютной погрешности должно соответствовать $0,8\Delta$.

Метрологические характеристики поверяемых рабочих эталонов давления определяют на основе двух серий наблюдений для

Таблица 7 6

Рекомендуемое число поверяемых точек шкалы для пружинных
эталонных манометров

Верхний предел измерения манометра $\times 10^n$, МПа	Значение интервала давления между точками шкалы $\times 10^n$, МПа	Число точек шкалы
0,1	0,01	10
0,16	0,02	8
0,25	0,02	13
0,40	0,04	10
0,60	0,05	12

* Число n может быть отрицательным, положительным или равным нулю

приборов классов точности 0,25 и 0,4 и трех серий наблюдений при поверке устройства с классом точности 0,15.

На эталонные манометрические средства измерения выдается свидетельство о государственной поверке установленной формы. На обратной стороне свидетельства указываются нормативные документы, по которым проводилась поверка этого эталонного манометра.

Кислородные манометры по окончании поверки должны встряхиваться присоединительным штуцером вниз над чистым листом бумаги (промокательной). После высыхания контролируется наличие масляных остатков на внутренних поверхностях чувствительного элемента прибора. При обнаружении жировых пятен прибор бракуют и проводят ревизию всего оборудования, которое использовалось в поверке кислородных манометров.

Электроконтактные манометры поверяют по погрешности срабатывания сигнального устройства, на электрическую прочность и сопротивление электрической изоляции.

Погрешность срабатывания сигнального устройства электроконтактного манометра устанавливают как разницу между показаниями сигнальной стрелки и значением, при котором срабатывает электроконтактная система — замыкается или размыкается электрическая цепь.

Прочность электрической изоляции испытывают напряжением с источником мощностью не менее 250 В · А, включаемым между испытуемой электрической цепью и корпусом прибора.

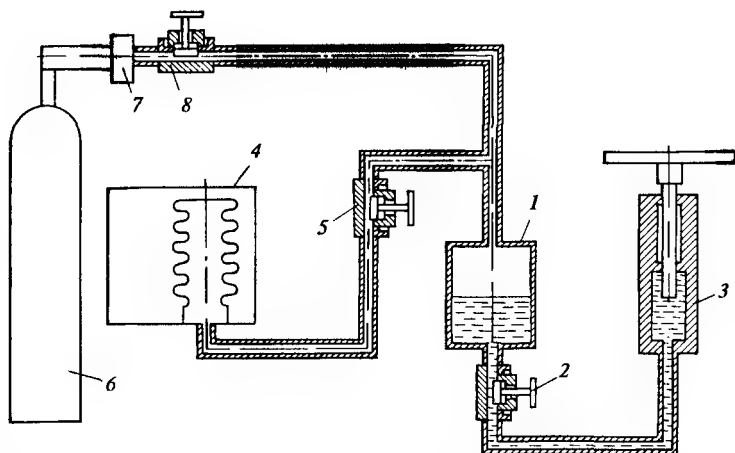


Рис. 7.14. Схема поверки измерительного преобразователя давления с помощью грузопоршневого манометра и газожидкостного разделительного сосуда:

1 — газожидкостный разделительный сосуд, 2 — запорный клапан отвода, 3 — измерительная колонка, 4 — поверяемый комплекс, 5 — клапан подключения, 6 — баллон сжатого азота, 7 — газовый редуктор, 8 — клапан подвода

Измерительные преобразователи давления с верхними пределами измерения до 0,25 МПа поверяются на газовых средах. При большем давлении вид рабочей среды не оказывает влияния на результат измерения, и поэтому допускается поверка как на газе, так и на жидкости. При работе поверяемых комплексов на газе, а эталонных приборов на жидкости используют схему с газожидкостным разделительным сосудом (рис. 7.14).

По линии отвода жидкости от газожидкостного разделительного сосуда 1 через запорный клапан отвода 2 устанавливается измерительная колонка 3. Поверяемый комплекс 4 соединен с разделительным сосудом через клапан подключения 5. В качестве источника давления в схеме используется баллон 6 с сжатым азотом, который поступает в линию подвода через газовый редуктор 7 и клапан подвода 8.

Уровень жидкости в разделительном сосуде, горизонталь подвода среды измеряемого давления к поверяемому комплексу и нижняя плоскость штуцера измерительной колонки должны находиться в одной горизонтальной плоскости. При несоблюдении

этого условия в результате измерения требуется учитывать влияние гидростатического столба жидкости

Измерительные преобразователи давления отечественного производства до начала поверки должны выдерживаться при включенном питании не менее 1 ч. Современные преобразователи многих ведущих мировых производителей не требуют такой температурной адаптации.

Более детальные рекомендации по поверке измерительных преобразователей давления изложены в МИ 1997-89 [36].

8.1. Разделители и разделительные устройства

Разделители, часто называемые разделительными мембранами, предназначены для отделения измерительного прибора, внутренней полости его чувствительного элемента от измеряемой среды и применяются в следующих случаях

- загрязненности измеряемого вещества или его высокой вязкости, кристаллизруемости или быстрой изменяемости его пластичности,
- если измеряемая среда вызывает коррозию чувствительного элемента или других частей прибора внутренней измерительной полости,
- высоких температур измеряемых сред, которые не позволяют эксплуатировать стандартные измерительные средства,
- повышенных требований гигиены к технологическим процессам в условиях пищевой промышленности, а также повышенных требований к контролю процессов в условиях химических реакций,
- конструктивных особенностей оборудования, не позволяющих устанавливать стандартные измерители

Комплектоваться разделителями могут показывающие и электроконтактные манометры и измерительные преобразователи давления и разности давлений

В п 2 3 1 описан манометр, в котором мембрана является одновременно разделяющим и чувствительным элементом

В этой главе рассмотрены разделители как автономные устройства, поставляемые отечественными и зарубежными производителями, а также нестандартные методы применения мембран и силовых фонов для решения задач, отмеченных выше

На рис 8 1 показаны разделители, в прошедшие годы наиболее широко применявшиеся в отечественной промышленности Эти устройства достаточно универсальны, имеют внешний диаметр корпуса до 150 мм Для обеспечения представительности измерения, небольшого значения погрешности необходимо соблюдать одно из основных требований, предъявляемых к устройствам такого типа жесткость мембраны разделителя должна быть намного

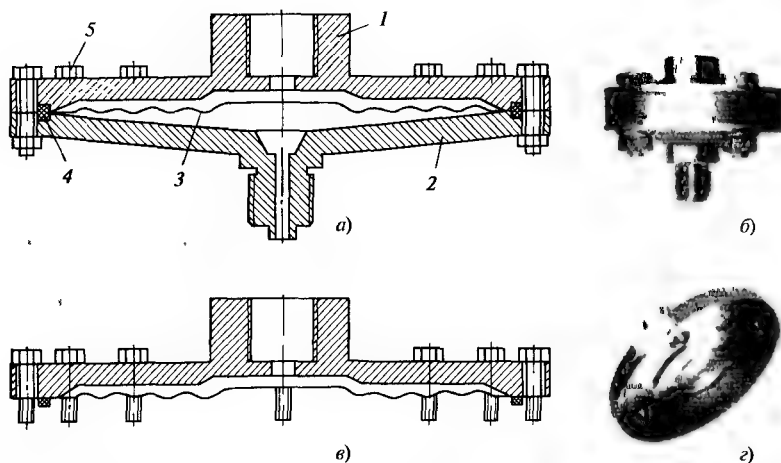


Рис. 8.1. Вид и схема разделителей с закрытой мембраной (а, б) и открытой (в, г) мембраной:

1 — корпус, 2 — основание, 3 — мембрана, 4 — уплотнительная прокладка, 5 — болт крепежный

меньше жесткости чувствительного элемента измерительного прибора.

Разделитель с закрытой мембраной (рис. 8.1, а, б) имеет корпус 1 и основание 2, между которыми установлена мембрана 3. Корпус и основание уплотнены между собой прокладкой 4 и скреплены болтами 5. Подвод измеряемой среды осуществляется через штуцер основания, который имеет, как правило, стандартные размеры и может устанавливаться в посадочные гнезда манометров. Малый размер проходного отверстия штуцера предопределяет неприменимость такого типа разделителей (с закрытой мембраной) для вязких, кристаллизующихся сред.

Конструкция разделителя с открытой мембраной (рис. 8.1, в, г) позволяет измерять давление кристаллизующихся сред, составов с твердыми включениями и веществ высокой вязкости. Обычно разделители с открытой мембраной устанавливаются на различного рода сосудах, трубопроводах большого диаметра.

Измеряемое давление, как это можно увидеть из рисунка, действует на разделительную мембрану и прогибает ее. Через рабочую жидкость это давление воздействует на чувствительный эле-

Таблица 8.1

Основные технические характеристики разделителей с открытыми и закрытыми мембранами отечественного производства

Модель разделителя	Верхний предел измерений манометра, с которым работает разделитель, МПа	Объем упругого чувствительного элемента, см ³	Изменение объема чувствительного элемента, заполняемого жидкостью, под воздействием максимального давления, см ³
5319	0,025—2,5	40	1,0
5321	4—60	20	0,5
5497	0,025—2,5	40	1,0
5494	0,6—2,5	20	0,5

мент прибора. Изменение внутреннего объема разделителя, ограниченного мембраной, корпусом и внутренней полостью измерителя, происходит в пределах от 0,5 до 1,0 см³ в зависимости от начального.

Основные технические характеристики разделителей с открытыми и закрытыми мембранами, производимых отечественными предприятиями на протяжении многих лет, приведены в табл. 8.1.

Разделители с открытыми и закрытыми мембранами отечественных производителей вносят при малых давлениях (до 0,06 МПа) дополнительную погрешность измерений, не превышающую 1 %. При более высоких давлениях погрешность составляет до 0,5 % и менее.

Дополнительная погрешность δ_p , вносимая разделителем, определяется по следующей формуле:

$$\delta_p = 0,25 + 100/k_m(k_{сж}V_p + \Delta V/p_{\max}), \quad (8.1)$$

где k_m — коэффициент разделительной мембраны; $k_{сж}$ — коэффициент сжимаемости рабочей жидкости; V_p — внутренние объемы разделителя и измерителя, см³; ΔV — диапазон изменения рабочего объема, см³; $p_{\max}$ — верхний предел измеряемого давления, МПа.

Мембранные разделители, разработанные на основе современных технологий, не вносят погрешности в процесс измерения. Это достигается рядом технических мероприятий. Например, разделительная мембрана принимается минимальной толщины, так как она должна выдерживать только перепад давлений, возникающий

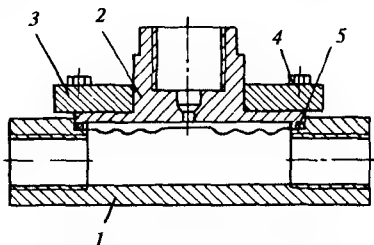


Рис. 8.2. Мембрана в корпусе для трубопроводов малых диаметров:

1 — корпус с подводящим и отводящим патрубками, 2 — блок мембраны с гнездом под прибор, 3 — прижимной фланец, 4 — болт, 5 — уплотнительная прокладка

между объемом измеряемой среды и внутренней полостью измерителя, а не нагрузки избыточного давления. Если исходить из того, что это пространство заполняется несжимаемой жидкостью, то нагрузка на разделительную мембрану, как таковая, отсутствует. Этим объясняется достаточно успешное применение в качестве разделителей сильфонов, выполненных даже из фторопласта.

Для трубопроводов малых диаметров производятся специальные мембраны, один из вариантов которых приведен на рис. 8.2. В этих конструкциях корпус выполнен в виде усеченного цилиндра с подводящим и отводящим патрубками и расположенным сверху посадочным гнездом под блок мембраны, который устанавливается на корпусе через уплотнительную прокладку и прижимается крепежными болтами.

Отечественными предприятиями такие мембранные блоки производятся под подводящие и отводящие патрубки с посадочной трубной резьбой в 1/2 дюйма.

Их основные недостатки — дополнительное гидравлическое сопротивление и наличие «застойной» зоны, нежелательной для приборов пищевой промышленности или при работе с кристаллизующимися веществами.

При использовании разделителей, схемы которых представлены на рис. 8.3, гидравлическое сопротивление будет значительно меньше. В таких разделителях (рис. 8.3, а) резиновая или стальная мембрана 1 герметично соединена с металлическим кожухом 2. Образованный моноблок устанавливается между двумя фланцами 3 и 4 трубопровода и закрепляется с помощью стягивающих шпилек 5. В этих устройствах разделительная мембрана достаточно эластичная, что позволяет создавать конструкции без заполнения внутреннего пространства несжимаемой жидкостью. Работа манометрического прибора в комплекте с мембранным разделителем в таком случае обеспечивается при герметичности системы возду-

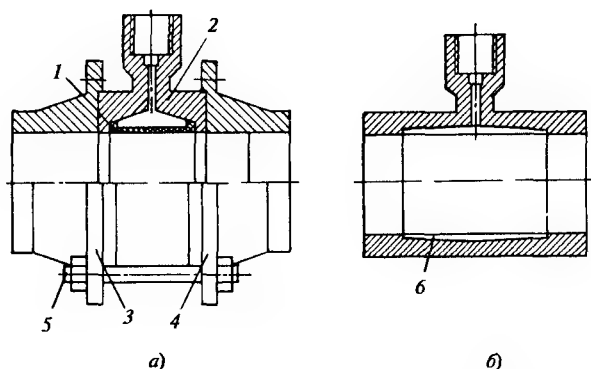


Рис. 8.3. Разделитель с мембраной, установленной заподлицо с внутренней стенкой трубопровода:

1 — резиновая мембрана, 2 — металлический кожух, 3, 4 — фланцы трубопровода, 5 — стягивающая шпилька, 6 — металлическая мембрана

хом, находящимся во внутреннем объеме надмембранного пространства и рабочей полости измерителя

Разделитель с резиновой мембраной, установленной заподлицо с внутренней стенкой трубопровода некоторых моделей, выдерживает давление до 16 МПа при температуре до 100 °С. Его внутренний объем при этом может составлять 100—1000 см³.

В разделителях, показанных на рис. 8.3, б, металлическая мембрана 6 изготавливается в виде тонкостенного цилиндра и устанавливается заподлицо с внутренней стенкой трубопровода. Стык герметично сваривается, шов зачищается. Визуально обнаружить границы стыка практически невозможно.

Монтаж разделителей такого типа на трубопроводах может производиться также фланцевым методом с болтовой стяжкой (см. рис. 8.3, а).

При монтаже сваркой в целях исключения температурного перерасширения рабочей жидкости, которое может привести к необратимым деформациям мембраны и чувствительного элемента измерителя, заполнение разделителя производится после окончания установки. Разделители с мембраной, установленной заподлицо с внутренней стенкой трубопровода, выпускаются с внутренним

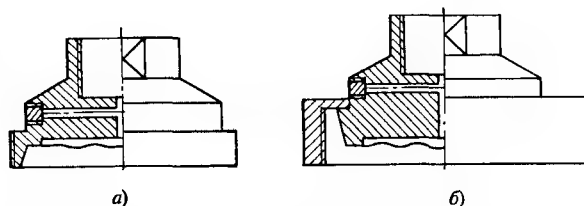


Рис. 8.4. Мембранные гигиенические разделители:
а — с наружной резьбой, *б* — с прижимной гайкой

диаметром от 25 до 100 мм для давлений от 0 до 0,1—40 МПа. В качестве наполнителя применяется силиконовое масло.

Производятся также разделители с мембраной, установленной заподлицо с внутренней стенкой трубопровода, с резьбовыми торцами. Крепление такого разделителя к трубопроводу осуществляется с помощью резьбовых муфт. Эта конструкция за рубежом получила наиболее широкое применение в пищевой промышленности, фармацевтике, химических технологиях и биотехнологии.

Разделители, используемые в пищевых производствах, заполняются маслом растительных культур или другой совместимой с пищей жидкостью. Некоторые производители (чему автор был свидетелем) заполняют разделитель обычным подсолнечным маслом. Рабочий диапазон таких разделителей ниже (от 0,1 до 4 МПа).

Мембранные разделители для оборудования, которое регулярно промывается и в котором недопустимы «застойные» зоны, называют часто гигиеническими. Они производятся нескольких типов и имеют плоскую мембрану (рис. 8.4). В одном из вариантов мембранный разделитель с наружной резьбой (рис. 8.4, *а*) вворачивается в специальное гнездо с ответной внутренней резьбой и уплотняется с помощью прокладки по нижней кромке устройства.

Мембранные гигиенические разделители другого типа (рис. 8.4, *б*) могут уплотняться по конусу его корпуса. Ответное посадочное гнездо должно иметь также обратный конус, по образующей которого производится уплотнение. Наиболее широкое применение получил способ установки в ответное гнездо, имеющее вид цилиндра с наружной резьбой. Уплотнение разделителя в этом случае производится по верхней кромке посадочного цилиндра.

Малогабаритные разделители (рис. 8.5) используются в специальных условиях. В разделителях переходникового типа (рис. 8.5, *а, б*)

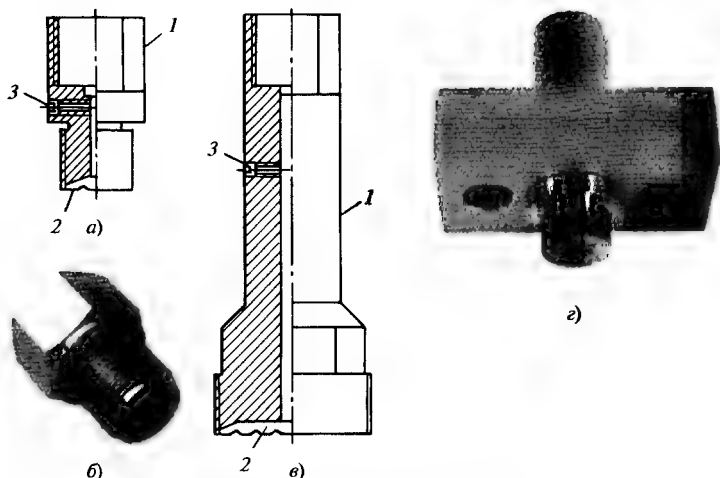


Рис. 8.5. Малогабаритные мембранные разделители:

схема (а) и вид (б) переходникового разделителя; схема (в) и вид (г) пальчикового разделителя с прижимной плитой:

1 — корпус; 2 — мембрана; 3 — клапан заполнения рабочей жидкостью

корпус выполнен в виде переходника, к нижней части которого приваривается мембрана. В средней части корпуса предусмотрен клапан для заполнения разделителя и прибора рабочей жидкостью. В зависимости от посадочной резьбы разделителя диаметр мембраны может составлять от 15 до 50 мм. Специальный материал разделительной мембраны (при небольших ее размерах — примерно 13 мм) позволяет применять такие устройства на абразивных средах. Малогабаритные разделители из упругих сталей можно использовать для работы при сверхвысоких давлениях (60 МПа и выше).

Пальчиковые разделители (рис. 8.5, в, г) используются на гоменизированных средах пищевой и химической промышленности для измерения давления 160 МПа и выше.

Основным недостатком малогабаритных разделителей является необходимость тщательного подбора измерительных устройств. Малый диаметр разделительной мембраны предусматривает небольшой ее прогиб в диапазоне рабочих давлений и соответственно небольшое изменение объема среды в надмембранном пространстве, что требует использования измерительных приборов так-

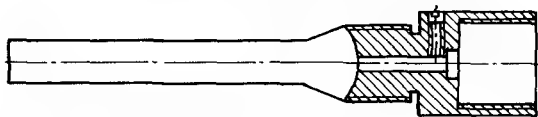


Рис. 8.6. Лепестковый разделитель

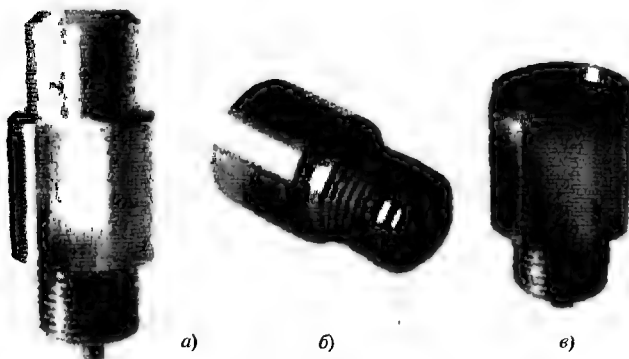


Рис. 8.7. Сильфонный малогабаритный разделитель (а), его блок (б) и основание (в)

же с небольшим объемом внутренней полости чувствительного элемента. Такая конструкция устройства может обуславливать появление в некоторых диапазонах давлений погрешности измерений.

Лепестковые разделители (рис. 8.6) применяются для измерения давления в различных труднодоступных участках технологического оборудования. Мембрана, изготовленная в виде лепестка, имеет достаточно развитую поверхность и соответственно не вносит существенной погрешности в процесс измерения.

Представляют интерес разделители на основе сильфонов (рис. 8.7). Преимущества устройств этого типа заключаются в относительно большом ходе сильфона, его хороших характеристиках упругости и, соответственно, возможности существенного снижения влияния работы разделителя на точность показаний манометра.

Отечественные производители внутренний объем разделителя и внутреннюю полость измерителя для исключения эффекта сжи-

Зарубежные, а также некоторые отечественные производители для заполнения мембранных разделителей применяют в зависимости от конструкции и условий эксплуатации различные смеси, масла и другие жидкости (табл. 8.2). Масла и смеси в большинстве случаев содержат различные химические добавки, обеспечивающие температурную стабильность в широком диапазоне параметров, а также устойчивые показатели несжимаемости.

При выборе рабочей жидкости необходимо руководствоваться свойствами измеряемой среды. Так, при измерении вакуума не рекомендуется применять в качестве наполнителя водные растворы

Основные разновидности масел и смесей, используемых в импортных разделителях

Наполнитель	Температура, °C
Вода	5 .. 90
Этиленгликоль	-20 ... 140
Масло трансформаторное	-30 .. 100
Гидравлическая жидкость АМГ-10	-60 .. 100
Силиконовые масла с добавками	-20 .. 200
"	-90 .. 100
Жидкость ПМС	-60 ... 180
Глицерин	-17 ... 230
Смесь глицерин—вода	-10 .. 120
Масло растительных культур	-10 .. 250
Специальные высокотемпературные масла	-10 ... 300
	-10 .. 400
Галокарбон	-40 .. 175

этиленгликоля и глицерина. Кроме этого, глицерин, как и его смеси, а также силиконовые масла взрывоопасны при контакте с хлором.

Жидкость ПМС, масла, нефтепродукты взрывоопасны при контакте с кислородом, перекисью водорода, хлором и некоторыми другими химическими соединениями. При работе с ними рекомендуется делители наполнять водой или галокарбоном, который, в свою очередь, активен по отношению к магнию.

Очень важно при выборе рабочей жидкости принимать во внимание температурный диапазон эксплуатации мембранного делителя. В противном случае возможно изменение фазового состояния жидкости — закипание, затвердевание, разложение, что может привести к выходу из строя всего измерительного устройства.

Рабочая жидкость, а также разделительная мембрана, ее профиль, рабочие характеристики выбираются такими, чтобы влияние делителя на результат измерения было минимальным. При этом важным фактором остается герметичность внутреннего объема мембранного делителя и манометрического прибора.

На погрешность измерения может также влиять качество заполнения внутреннего объема рабочей жидкостью. При остатке воздушных включений в рабочей жидкости внутреннего объема делителя дополнительная погрешность измерения будет возрастать. Поэтому к системе и технологии заполнения внутреннего объема рабочей жидкостью предъявляют повышенные требования. Существует несколько способов заполнения внутреннего объема.

В соответствии с первым из них делитель так же, как и измерительный прибор, промывают растворителем и просушивают. После этого с помощью устройства заполнения внутренней полости упругого чувствительного элемента эталонного манометра (см. рис. 7.9), вакуум-насосом из внутреннего объема делителя откачивают воздух и затем заполняют его рабочей жидкостью. Для исключения воздушных вкраплений во внутреннем объеме делителя операцию вакуумирования и заполнения рабочей жидкостью повторяют несколько раз до полного исчезновения пузырьков воздуха, поступающих в делительный сосуд. По этой же схеме заполняют внутреннюю полость измерительного прибора. На следующем этапе заполненный рабочей жидкостью делитель присоединяют к измерителю с уже заполненной внутренней полостью. Такой метод достаточно сложен и не исключает появления во внутреннем рабочем объеме пузырьков воздуха в процессе монтажных работ. Кроме того, такой способ не гарантирует после окончания наладочных работ оптимального положения разделительной мембраны.

Второй способ заключается в следующем. Обезжиренные и просушенные разделитель и измерительный прибор герметично соединяют друг с другом, и через специальный канал проводят вакуумирование и заполнение их внутренних объемов рабочей жидкостью.

Наиболее совершенной является система заполнения мембранных разделителей с помощью двойного вакуумирования (вакуумируется внутренняя полость разделителя; внешняя сторона мембраны также находится в разреженной среде).

Заполнение разделителя лучше производить в изотермических условиях при температуре приблизительно 40 °С.

Температура измеряемой среды в разделителе в рабочем режиме должна находиться в пределах 30—60 °С. Если она выше, то для ее снижения применяется удлинительный рукав, представляющий собой гибкий трубопровод, на одном конце которого герметично установлен штуцер, а на другом — посадочное гнездо под измерительный прибор. Часто в качестве гибкого трубопровода используется трубка, изготовленная из медных сплавов. Длину рукава выбирают в зависимости от особенностей монтажа разделителя и требуемых условий размещения прибора.

В целях обеспечения представительности измерений не рекомендуется заполнять разделители и манометрические приборы самостоятельно. Лучшим вариантом является поставка производителем измерительного прибора в комплекте с разделителем. В этом случае настройка прибора производится с присоединенным заполненным разделителем и влияние разделительного элемента на точность показаний учтена при регулировке. Соответственно для поверки манометрического прибора запрещается отделять его от разделителя, а поверку осуществлять в едином блоке с разделителем. В противном случае может оказаться при поверке, что манометрический прибор не входит в класс точности, а после его дополнительной настройки измерительный комплекс манометрический прибор—разделитель не обеспечивает заявленной точности измерений.

Мембраны для разделителей изготавливаются отечественными производителями из нержавеющей стали типа 36НХТЮ или 42НХТЮ, бериллиевой бронзы. Могут также применяться: тантал, хастеллой различных марок, в том числе В2, С4, С276, монел 400, никель, инконел 600, инколой. витон (FPM), платина, цирконий, а также, кроме основного — коррозионно-стойкой стали 10Х18Н9Т или 1.4571, титан. В некоторых случаях для защиты мембран при-

меняются специальные покрытия, выполненные из таких материалов, как PFA (до 200—260 °С), ECTFE и фторопласт Ф-4 (PTFE) (до 150 °С), серебро (до 150 °С), золото (до 200 °С).

При выборе материала мембраны необходимо руководствоваться возможностью ее сварки с корпусом разделителя. Это актуально для открытых мембранных разделителей, разделителей малогабаритных для пищевой промышленности. При невозможности сварки, что, например, имеет место при установке мембраны из витона в корпусах из нержавеющей стали, используется конструкция разделителя с закрытой мембраной, когда мембрана устанавливается между двумя фланцами и фиксируется болтовыми соединениями.

По данным компании «Энергосервер», наиболее оптимальными в зависимости от рабочей среды для изготовления корпусов разделителей являются материалы, приведенные в табл. 8.3.

Системы с мембранами менее чувствительны к пульсирующим нагрузкам, т.е. мембраны с объемом рабочей жидкости, находящейся над ней, и объемом жидкости, заполняющей внутреннюю полость измерительного прибора, образуют дополнительную демпферную систему с параметрами демпфирования, определяемыми входным отверстием держателя манометра (см. п. 2.3.1).

При использовании мембран для измерения малых значений давлений на зависимости прогиба упругого чувствительного элемента могут сказываться особенности ее краевой заделки. Устранить такое влияние можно введением противодействия, возвращающего мембрану в начальное состояние. Такой метод применяется, если нет возможности пробоотбора, а также при необходимости проведения измерений в закрытых объемах при высоких температурах и исключения значительного теплоотвода из рабочей зоны, например при проведении теплотехнических экспериментов.

В нестандартных условиях, научных экспериментах разделительные мембраны могут применяться в качестве разделителей и чувствительных элементов. На рис. 8.8 представлен один из вариантов такого их использования. В схеме компенсационного метода измерения давления рабочая мембрана 1 герметично приварена к корпусу 2. В ее центре жестко закрепляется шток 3, герметично закрытый на выходе из рабочего объема кожухом 4. На конце штока размещается индикатор 5, который работает в электрическом поле индукционных катушек 6, связанных с электрическим указателем «нуля» 7.

Таблица 8 3

**Материалы, рекомендуемые для изготовления корпусов разделителей
в зависимости от агрессивности рабочей среды**

Материал корпуса	Рабочая среда
Полипропилен	Кислоты: уксусная, фосфорная, серная. Ацетон, спирты, щелочи, формальдегиды (до 38 % концентрации) и т.п. Рабочая температура до -80°C ; давление — не более 4 МПа
Полиамид (нейлон)	Ацетон, спирты, нефтепродукты, щелочи натрия и кальция, различные моющие средства, щелочи, карбамид и т.п. Рабочая температура — до 150°C ; давление — не более 10 МПа
Фторопласт Ф-2М Футерованная фторопластом нержавеющая сталь	Различные агрессивные жидкости, кроме каустика, уксусной кислоты, аммиака, ацетона, кетонов. Рабочая температура — до 80°C ; давление — не более 2,5 (для стали — до 200) МПа
Сталь нержавеющая типа X18H9T	Различные слабоагрессивные жидкости, а также некоторые среднеагрессивные малых концентраций. Рабочая температура и давление — весь диапазон промышленных энергетических параметров
Молибденовая сталь	Кислоты: лимонная (концентрация до 50 %), муравьиная (концентрация до 10 %), уксусная, щавелевая, фосфорная (концентрация не более 40 %), серная (концентрация не более 25 %), хромовая. Формальдегид, фреоны
Хромоникелевая сталь	Серная кислота любых концентраций с температурой до 80°C , фосфорная кислота, морская вода и т.п.
Титан	Кислоты: уксусная, щавелевая. Хлор газообразный влажный, хлориды, морская вода
Хастеллой	Практически весь ряд самых агрессивных сред. Кислоты: соляная любых концентраций, плавиковая, фосфорная, галогены и т.п.

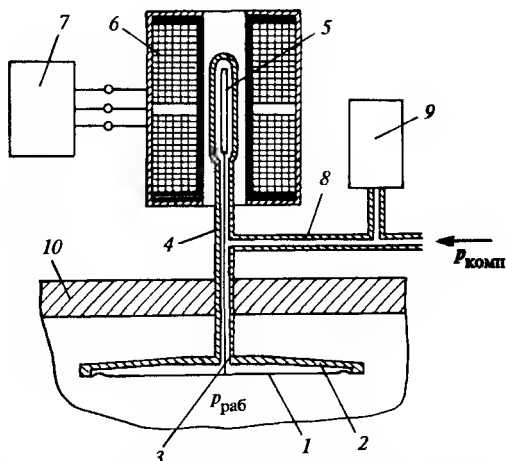


Рис. 8.8. Схема компенсационного метода измерения давления с помощью мембраны:

1 — рабочая мембрана, 2 — корпус, 3 — шток, 4 — кожух, 5 — индикатор, 6 — индукционные катушки, 7 — электрический указатель «нуля», 8 — трубопровод, 9 — измеритель давления, 10 — стенка технологического оборудования

К кожуху герметично присоединен трубопровод 8 с подключенным измерителем давления 9 и отводом среды компенсационного давления $p_{\text{комп}}$. Рабочая полость, образованная мембраной, корпусом, кожухом, трубопроводом и отводом среды компенсационного давления, представляет собой закрытый объем.

Кожух сварен в стенку 10 технологического оборудования.

Система работает следующим образом. Рабочая мембрана с корпусом на кожухе устанавливается в зоне измеряемого давления $p_{\text{раб}}$. Причем форма корпуса и глубина погружения мембраны в измеряемую среду выбираются исходя из условий работы технологического оборудования и геометрии рабочего пространства, в котором монтируется чувствительный элемент. Измеряемое давление $p_{\text{раб}}$ воздействует на мембрану 1 и прогибает ее. Это приводит к смещению штока с индикатором, что отображается с помощью индукционных катушек 6 на электрическом указателе «нуля» 7. Для восстановления начальной формы мембраны в трубопровод закрытого объема подается нейтральный газ или другая

среда компенсационного давления $p_{\text{комп}}$, которое создает противодействие первоначальному прогибу мембраны. Компенсационное давление определяется показаниями электрического указателя «нуля», т.е. компенсационное давление возрастает до тех пор, пока электрический указатель «нуля» не обозначит начальное положение индикатора и соответственно мембраны. При восстановленном начальном положении мембраны измеряемое давление отсчитывается внешним измерителем давления 9.

Известны компенсационные методы измерения, при использовании которых давление, вызывающее прогиб мембраны, компенсируется электрическим противодействием, создаваемым дополнительными электрическими катушками и приводящим упругий чувствительный элемент в исходное положение

Точность измерения давления компенсационным методом зависит от чувствительности мембраны и комплекта указатель «нуля» — индукционные катушки, а также от погрешности внешнего измерителя давления. При высоком классе точности измерителя давления и оптимальных характеристиках мембраны (даже при ее малых размерах) может достигаться высокая точность. Так, исходя из опыта автора, измерение давлений с помощью мембраны диаметром примерно 30 мм с соответствующим инструментарием компенсационным методом обеспечивали класс точности 0,07.

8.2. Демпферные устройства

Измерение давления пульсирующих сред в большинстве случаев вызывает ускоренный износ в первую очередь деталей и узлов, находящихся на линии передачи от конца трубчатой пружины до трибки. Иллюстрацией пульсирующего параметра могут быть значения давления в ресиверах поршневых компрессоров, патрубках питательных насосов котельных установок. В таких режимах стрелка манометра пульсирует — дергается. При этом амплитуда пульсаций может составлять до 20—30 % шкалы прибора. Основная нагрузка в данном случае приходится на зубчатую передачу сектор—трибка. Поэтому «съедаются» зубцы этих деталей, что приводит к большим люфтам в передаточном механизме, а часто, при «разбивании» посадочных гнезд плат и износе цапф осевых держателей сектора и трибки, — к разрушению механизма.

Измерители с тензопреобразователями, как, впрочем, и с другими видами чувствительных элементов, не устойчивы к гидродарам, которые часто наблюдаются в тепловых сетях, особенно при пароводяных режимах. В таких режимах за короткий интервал

времени давление рабочего тела скачкообразно возрастает в несколько раз.

При пульсационных нагрузках мембраны измерительных преобразователей, особенно когда на их поверхностях нанесены чувствительные слои, от частых деформаций снижают свой рабочий ресурс и ухудшают технические характеристики.

Чтобы уменьшить амплитуды выбросов пульсирующего давления, на линии его подвода устанавливают дополнительные устройства, например клапаны, сужающие шайбы, позволяющие увеличить гидравлическое сопротивление импульсной линии или подводящего канала. Однако такие меры должны проводиться осторожно, так как отсчет измеряемого параметра желательно производить с минимальным транспортным запаздыванием, но не для пульсирующего параметра. При пульсирующем давлении требуется определять оптимальные значения между скоростью измерения и усредненным за определенный отрезок времени параметром.

Для снижения пульсаций, сглаживания параметра измеряемого потока применяют различные меры. Одним из наиболее часто используемых приемов является установка в подводящем канале дополнительных устройств, повышающих их гидравлическое сопротивление. В некоторых случаях на подводящей линии размещается вставка с пористым материалом. При этом пористость, как и длина вставки, выбирается исходя из задаваемых параметров пульсаций измеряемого давления.

К недостаткам пористых демпферов можно отнести их засоряемость и невозможность или затруднительность регенерации.

В манометрических приборах традиционно используются демпферы, монтируемые в держателе измерителя. Демпфер представляет собой вставку с малым проходным отверстием в центре (рис. 8.9). Он устанавливается в подводящем канале и ограничивает движение массы рабочего вещества между измеряемым потоком и полостью чувствительного элемента.

Длина канала с отверстием небольшого диаметра практически не влияет на показатели демпфирования. Определяющим является диаметр отверстия, выбираемый в зависимости от вязкости измеряемой среды, требуемой величины усреднения и значений амплитуд пульсаций измеряемого параметра.

Основным недостатком демпферов в виде сужающегося устройства является вероятность засорения малого проходного канала.

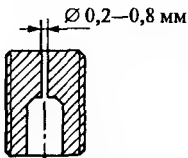


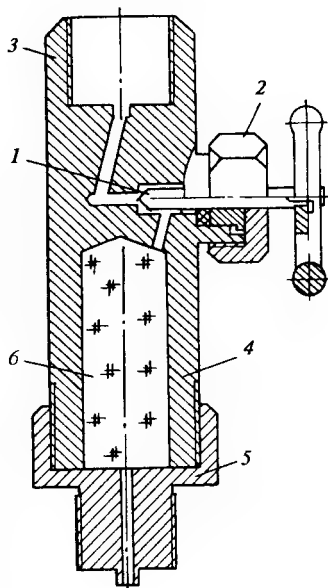
Рис. 8.9. Демпфер в виде сужающегося устройства

Рис. 8.10. Демпферный блок с фильтром и иглой:

1 — регулирующая игла, 2 — ввод, 3 — корпус, 4 — основа, 5 — накидная гайка, 6 — фильтр

Конструкция демпферного блока с фильтром и иглой исключает возможность засорения канала и обеспечивает работоспособность устройства в комплекте с манометром при измерении сред с различными характеристиками пульсаций (рис. 8.10).

Регулирующая игла 1, закрепленная во вводе 2, образует с корпусом 3 демпфирующий зазор. Корпус состоит из основы 4 и накидной гайки 5. Фильтр 6 устанавливается перед демпфирующим зазором и обеспечивает циркулирование через него среды без сторонних включений.



Изменение демпфирующего зазора между регулирующей иглой и корпусом обеспечивает оптимальный выбор между характеристиками сглаживания измерений и временем запаздывания измеряемого давления.

К недостаткам такой конструкции можно отнести необходимую периодическую замену фильтров.

Демпферный блок с разделителем (рис. 8.11) представляет собой корпус, состоящий из основы 1 и гнезда манометра 2, между которыми размещается перегородка 3. К ней герметично присоединен эластичный колпак 4. В центре перегородки имеется отверстие малого диаметра, служащее демпфером. Внутренний объем эластичного колпака с внутренней полостью чувствительного элемента манометра 5 образуют единое замкнутое пространство, которое заполняется жидкостью.

Среда измеряемого давления через подводящий штуцер 6 поступает внутрь основы и воздействует на эластичный колпак. При избыточном давлении последний стремится уменьшить свои размеры — сжаться, что вызывает переток находящейся внутри него жидкости через демпферное отверстие 7 во внутреннюю полость

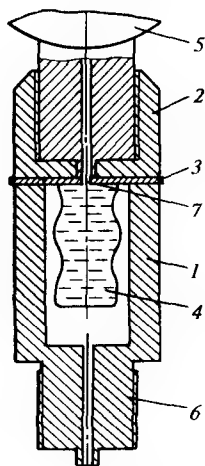


Рис. 8.11. Демпферный блок с разделителем:

1 — основа, 2 — гнездо манометра, 3 — перегородка, 4 — эластичный колпак, 5 — манометр, 6 — подводящий штуцер, 7 — демпферное отверстие

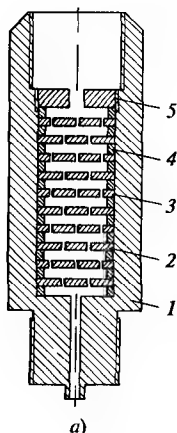


Рис. 8.12. Схема (а) и вид (б) демпферного устройства с набором шайб:

1 — корпус, 2, 3 — шайбы, 4 — вставка, 5 — фиксатор



чувствительного элемента манометра. При этом малый диаметр проходного отверстия и нежесткость формы и объема эластичного колпака позволяют отсечь основные пульсации давления измеряемой среды. Чем меньше диаметр отверстия, тем больше степень сглаживания измеряемой среды, поступающей во внутреннюю полость чувствительного элемента измерителя.

Главным недостатком демпферного блока с разделителем является отсутствие возможности управления степенью демпфирования.

Более широкое распространение получило демпферное устройство, рабочая часть которого представляет набор шайб с малыми отверстиями, размещенными на определенном расстоянии друг от друга (рис. 8.12). В корпусе 1 устройства устанавливаются шайбы 2 и 3, которые имеют одинаковые габаритные размеры, но различаются шахматным расположением отверстий друг относительно друга. Шайбы и при установке в корпусе дистанцируются вставкой 4. Таким образом создаются малые камеры рабочей сре-

ды. Измеряемая среда пульсирующего давления через одну из шайб поступает в малую камеру и из-за смещения отверстий в шайбах друг относительно друга вынуждена изменять направление движения. Таким образом она проходит серпантинный путь, на котором и из-за которого происходит гашение пульсаций.

Диаметр отверстий в шайбах, их расположение и количество камер в значительной мере определяют степень сглаживания пульсирующего параметра.

Фиксатор 5 обеспечивает собираемость конструкции и позволяет неподвижно фиксировать шайбы.

Демпферные устройства с набором шайб используются в промышленной эксплуатации на протяжении нескольких десятков лет.

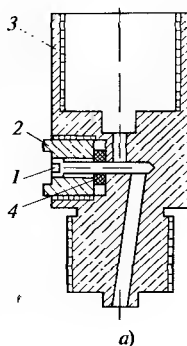
Определенную степень демпфирования могут вносить подводящие коммуникации. Так, обеспечивающие нормальные температурные условия работы манометра сифонные отводы, в особенности конструкции, в которых имеются гидравлические петли, позволяют в значительной степени уменьшить пульсации измеряемой среды.

Демпфирование измеряемой среды может также производиться трехходовыми кранами и игольчатыми клапанами, установленными на импульсной линии подсоединения манометра. Степень демпфирования в этом случае во многом зависит от конструкции применяемых устройств.

Представляет интерес использование для гашения пульсаций демпферного устройства с регулировочной иглой (рис. 8.13). Регулировочная игла 1 устанавливается с помощью зажимного штуцера 2 в корпусе 3 демпферного устройства. Уплотнительная прокладка 4 обеспечивает герметичность конструкции. Таким образом, канал измеряемого потока пульсирующего давления на пути к чувствительному элементу прибора перекрывается регулировочной иглой 1. Величина такого перекрытия определяет степень демпфирования измеряемого параметра.

Рис. 8.13. Схема (а) и вид (б) демпферного устройства с регулировочной иглой:

1 — регулировочная игла, 2 — зажимной штуцер, 3 — корпус, 4 — уплотнительная прокладка



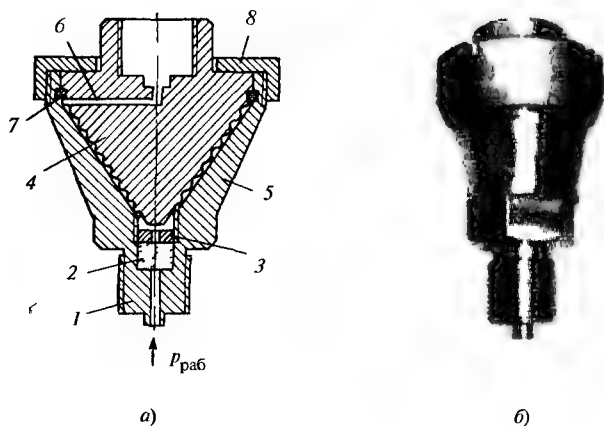


Рис. 8.14. Схема (а) и вид (б) демпферного устройства с капиллярным каналом:

1 — подводящий штуцер 2 — пористый фильтр, 3 — демпферная шайба, 4 — конус, 5 — корпус, 6 — дополнительное отверстие, 7 — уплотнительная прокладка 8 — резьбовая крышка

Другим типом приспособлений для сглаживания пульсаций давления измеряемой среды могут служить устройства, в которых гашение скачков достигается малым размером канала (на уровне долей миллиметра) и большой его длиной (от десятков сантиметров до сотен метров). На рис. 8.14 представлено демпферное устройство с капиллярным каналом.

Измеряемая среда пульсирующего давления через подводящий штуцер 1, пористый фильтр 2 и демпферную шайбу 3 поступает в капиллярный канал, образованный конусом 4 и корпусом 5. Внутренняя наклонная плоскость корпуса 5 имеет чистую поверхность. Канал в виде спирали нарезан на внешней стороне конуса. Площадь его поперечного сечения и форма принимаются в зависимости от задаваемых параметров рабочей среды. Выход капиллярного канала через дополнительное отверстие 6 соединен с выходом устройства. Герметичность конструкции обеспечивается уплотнительной прокладкой 7 и резьбовой крышкой 8.

Демпферное устройство с капиллярным каналом в комплекте, например, с показывающим манометром МП 160 реально обеспечивает время переходного процесса от 0,5 до 3 с

8.3. Разделительные и уравнильные сосуды

Разделительные сосуды предназначены для предохранения внутренних полостей измерительных приборов от воздействия агрессивных измеряемых сред, а также для предотвращения поступления вязких сред в эти полости. Отделение прибора от измеряемой среды происходит посредством разделительной жидкости

Конструктивное исполнение разделительного сосуда не сложное (рис 8 15, а) к стальному сосуду приварены подводящий, отводящий и контрольный патрубки. В одной части (верхней или нижней) разделительного сосуда находится измеряемая жидкость (например, газ), поступающая от измеряемого пространства, в другой — иная, не смешивающаяся с измеряемым веществом жидкость, удовлетворяющая требованиям, предъявляемым к заполнению внутренних полостей приборов

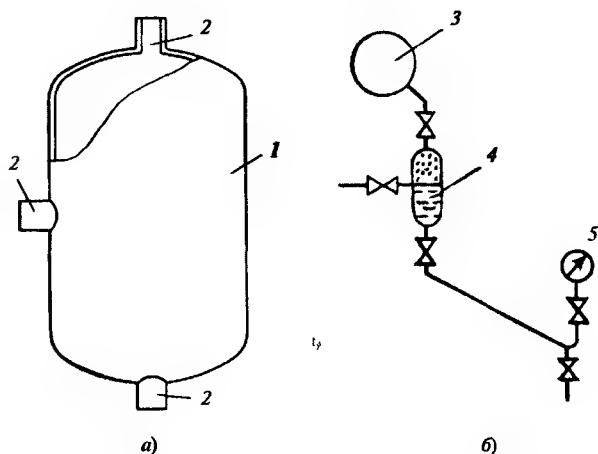


Рис. 8.15. Внешний вид (а) и схема подсоединения (б) разделительного сосуда:
1 — металлический сосуд 2 — присоединительный патрубок 3 — трубопровод,
4 — разделительный сосуд, 5 — измерительный прибор

¹ Применение разделительного сосуда поясняет рис. 8.15, б. Если по трубопроводу протекает мазут, попадание которого во внутренние полости прибора из-за его высокой вязкости (а при низкой температуре — и застывания) не желательно, то на выходе пробоотбора через коренной клапан устанавливается разделительный сосуд. Расстояние между ними невелико. Этот сосуд с отводящим трубопроводом и измерительным прибором наполовину заполняется водой. Разогретый мазут из-за более низкой плотности заполняет верхнюю часть разделительного сосуда, а в нижней его части остается вода. Изменение давления приводит к варьированию уровня раздела мазута и воды. При значительно превосходящем объеме сосуда относительно объема внутренней полости чувствительного элемента измерительного прибора изменение уровня разделения в сосуде мало.

В табл. 8.3 приведены основные параметры и размеры разделительных сосудов.

По рабочему давлению сосуда производятся для измерений давлений до 6,3; 25 и 40 МПа.

Применение разделительного сосуда при условии, что измеряемое вещество легче разделительной жидкости, иллюстрирует рис. 8.15, б. Если удельная масса измеряемой среды выше удельной массы разделительной жидкости, то разделительный сосуд и измерительный прибор устанавливаются выше пробоотбора.

В качестве разделительной жидкости могут использоваться вода, глицерин, водоглицериновые смеси, минеральные масла.

Для разделения измеряемой среды и полости чувствительного элемента применяют также устройства, используемые в качестве разделительных камер кислородсодержащих сред (см. п. 2.2.3).

Уравнительные сосуды применяются для исключения влияния на результат измерения дифманометров-расходомеров и перепадомеров, а также дифманометров-уровнемеров столба жидкости

Таблица 8.3

Основные параметры и усредненные размеры разделительных сосудов

Внутренний объем сосуда, см ³	Внутренний диаметр, мм	Размеры, мм		
		высота	ширина 1	ширина 2
1100	140	530	280	210
470	90	490	230	160
90	35	440	175	100

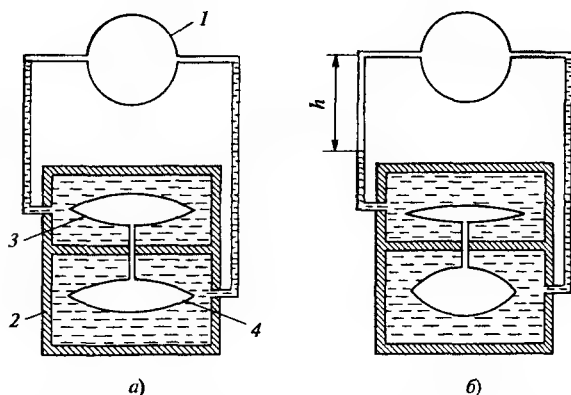


Рис. 8.16. Схема работы измерительного преобразователя разности давлений на трубопроводе:

а — при отсутствии перепада давлений, *б* — при воздействии дифференциального давления, *1* — трубопровод с сужающим устройством, *2* — измерительный преобразователь разности давлений, *3, 4* — «плюсовая» и «минусовая» камеры соответственно

в импульсных подводящих линиях. Причем величина воздействия столба может определяться как его высотой, так и плотностью находящейся в нем жидкости. Плотность жидкости в значительной степени зависит от ее температуры. Этим обусловлена необходимость прокладки обеих импульсных линий («плюсовой» и «минусовой») в одинаковых температурных условиях.

Необходимость применения уравнительных сосудов при измерении перепада давлений на сужающем устройстве можно продемонстрировать на рис. 8.16. Измерительный преобразователь разности давлений с мембранными коробками в качестве чувствительного элемента установлен на трубопроводе с сужающим устройством. Измеряемая среда в трубопроводе — газ. В определенный момент времени при оптимальном заполнении импульсных линий рабочей жидкостью и дифференциальном давлении, равном нулю, «минусовая» и «плюсовая» камеры имеют одну степень объемной деформации. При увеличении перепада давлений на сужающем устройстве возрастает давление в импульсной линии «плюсового» давления и «плюсовая» камера сжимается, вытесняя рабочую жидкость в «минусовую». При этом из-за уменьшения объема «плюсовой» камеры снижается уровень рабочей жидкости в импульсной

линии «плюсового» давления на величину h . Соответственно выходной сигнал преобразователя будет, согласно выражению (3.6), пропорционально уменьшен на величину $h\rho g$. При увеличении перепада давлений будут возрастать h и погрешность проводимых измерений. Этим обстоятельством обусловлена необходимость применения уравнильных сосудов.

Конструктивная особенность уравнильного сосуда состоит в значительном превышении его площади поперечного сечения над площадью поперечного сечения импульсной линии. Механизм этого явления более подробно описан в § 3.2 (о чашечных манометрических приборах), где показана возможность снижения погрешности варьированием гидростатического столба путем увеличения поперечного сечения сосуда. Таким образом, конструкция уравнильного сосуда предусматривает значительную площадь его поперечного сечения. Эти сосуды устанавливаются как основная цилиндрическая образующая вертикально.

Размеры уравнильных сосудов, а они по конструкции идентичны разделительным (см. рис. 8.15, а), приведены в табл. 8.4.

Меньший уравнильный сосуд предназначается для работы в комплекте с сильфонными и мембранными дифманометрами, больший — для поплавковых измерителей.

Практика использования современных измерительных преобразователей разности давления из-за незначительного изменения объемов их «плюсовой» и «минусовой» камер необходимость применения уравнильных сосудов не подтверждает.

По рабочему давлению уравнильные сосуды аналогичны разделительным и производятся для измерения давлений до 6,3; 25 и 40 МПа.

В паровых средах для обеспечения заполнения подводящих к измерителю импульсных линий жидкой фазой, поддержания этого заполнения постоянным применяются уравнильные конденсационные сосуды. Их отличительной особенностью служит горизонтальное расположение образующего сосуд цилиндра (рис. 8.17).

Таблица 8 4

Основные параметры и усредненные размеры уравнильных сосудов

Внутренний диаметр сосуда, мм	Объем вытесняемой жидкости, см ³	Размеры, мм		
		высота	ширина 1	ширина 2
90	250	320	210	160
140	610	360	260	210

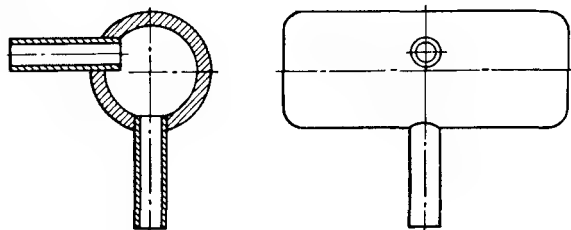


Рис. 8.17. Схема уравнительного конденсационного сосуда

Отводящий патрубок расположен снизу по оси цилиндра. Ось подводящего патрубка для увеличения высоты рабочего пространства сосуда смещена вверх. Диаметр сосуда составляет 89 или 108 мм, длина — 200—270 мм. Рабочее давление — 4 или 10 МПа. Для более высоких давлений уравнительные конденсационные сосуды изготавливаются по документации, определяемой межведомственными нормами.

Импульсные линии, особенно в условиях измерения давления пара, не должны теплоизолироваться. Это требуется для охлаждения жидкости, контактирующей с измерительным прибором, до допустимой температуры, а также для конденсации жидкости из измеряемого пара и заполнения импульсных линий.

8.4. Подводящая и вспомогательная арматура

Монтажные схемы манометрических приборов должны предусматривать отключения измерителей без останова технологического процесса. Кроме того, нередко возникают проблемы включения контрольного прибора, проверки показаний измерителя на «нуле», т.е. при сообщении внутренней полости чувствительного элемента манометра с атмосферой, продувки импульсной линии или сифонной трубки. В связи с этим на линии отбора пробы непосредственно перед измерительным прибором устанавливают трехходовые краны, игольчатые клапаны, блоки клапанов (вентильные блоки) или специальные устройства. Конструкция этих систем, а также место их установки на импульсной линии выбираются в зависимости от особенностей технологического процесса, параметров и свойств измеряемой среды.

Манометрические приборы, устанавливаемые на значительном расстоянии от точки измерения среды, должны оснащаться запор-

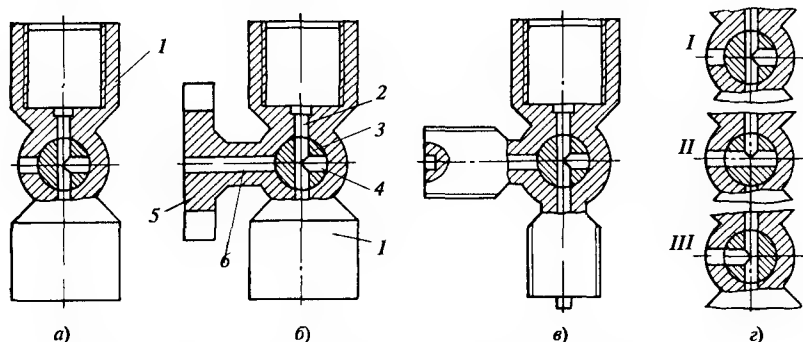


Рис. 8.18. Конструкции трехходовых кранов и варианты их работы:

а — без фланца, *б* — с фланцем, *в* — с присоединительным штуцером, *г* — *I* — рабочее состояние технического манометра, *II* — соединение измерительной полости манометра с атмосферой, *III* — вариант подключения контрольного манометра, *1* — корпус, *2* — сквозное отверстие, *3* — пробка, *4* — Т-образный проход, *5* — фланец, *6* — сбросное отверстие

ными клапанами, которые монтируются непосредственно у отборного устройства. Их монтаж необходимо проводить в соответствии со стрелкой на корпусе клапана, которая указывает направление движения потока. Это обеспечит подачу среды под шток клапана и исключит дополнительное давление на сальник устройства. Для данных целей применяются клапаны и другие запорные устройства, используемые в качестве трубопроводной арматуры при этих давлениях.

При малых давлениях (до 1,6 МПа) перед измерительным прибором устанавливаются трехходовые краны различных конструкций. На рис. 8.18 и 8.19, *а*, *б* показаны краны, нашедшие наиболее широкое применение в промышленности. Их основными видами являются краны без фланца (рис. 8.18, *а*), с фланцем (рис. 8.18, *б*), с присоединительным штуцером (рис. 8.18, *в*). Краны без фланца (рис. 8.18, *а*) применяются в тех случаях, когда нет необходимости контролировать показания технического манометра, а нужно предусмотреть только возможность его отключения при замене или техническом обслуживании.

В кранах без фланца пробка должна устанавливаться таким образом, чтобы перекрывалось соединение манометра с измеряемой средой, а внутренняя полость прибора через трехходовой кран сообщалась с атмосферой. В данном случае обязательны слив жид-



Рис. 8.19. Трехходовые краны и игольчатые клапаны со сливом (а, в, д) и дополнительным штуцером под контрольный манометр (б, з, е):

а, б — для давлснии до 1,6 МПа, в, з — до 10 и 16 МПа, д, е — до 40 МПа

кой фазы или стравливание газовой среды перед снятием манометра в целях исключения хаотично направленного выброса среды наружу и возможности нанесения травм оператору при работе с измерительным средством.

Кран с фланцем (рис. 8.18, в) состоит из корпуса 1 со сквозным отверстием 2, установленной в нем пробки 3 с Т-образным проходом 4 и фланца 5 со сбросным отверстием 6. Пробка в наружной части имеет «фаски» для ее поворота ключом в одно из рабочих положений крана (рис. 8.18, з) или специальную ручку, как это видно на рис. 8.19, а, б. На наружной части этой пробки также нанесено направление Т-образного прохода.

Технический манометр устанавливается в посадочное гнездо верхней части крана. Среда измеряемого давления поступает снизу. В состоянии функционирования технического манометра (рис. 8.18, зI) сквозное отверстие корпуса совпадает с продольной осью Т-образного прохода пробки. При этом ответвление прохода повернуто в сторону глухой стенки корпуса. Таким образом, среда измеряемого давления от технологической линии поступает через сквозное отверстие и Т-образный проход внутрь измерительной полости технического манометра.

Если необходимо снять технический манометр в целях его замены, текущего контроля в лаборатории или ремонта, то пробку поворачивают в положение II (рис. 8.18, з). В этом случае перекрывается подвод измеряемой среды, а рабочая полость чувствительного элемента манометра соединяется с атмосферой. Необходимо тщательно ревизировать схему монтажа кранов и предусматривать, чтобы сброс остатков измеряемой среды из полости чувствительного элемента технического манометра при его отключении происходил в зону, свободную от нахождения персонала.

При необходимости проведения контроля показаний технического прибора путем подключения контрольного манометра пробку устанавливают так (рис. 8.18, зII), что сквозное отверстие корпуса совпадает с продольной осью ее Т-образного прохода, а ответвление прохода образует единый канал со сбросным отверстием фланца.

Аналогично функционирует трехходовой кран с присоединительным штуцером (рис. 8.18, в).

При высоких давлениях перед манометром устанавливают запорные устройства, традиционно называемые игольчатыми клапанами. Типовая конструкция игольчатого клапана, применяемого для этих целей, изготавливается литой из латуни (как правило, для

давлений до 10 МПа) и стали (до 16 МПа) (рис. 8.20, *а*). В корпусе 1 на линии прохода рабочей среды установлен шток 2, называемый часто иглой. Герметичность устройства обеспечивается с помощью накидной гайки 3 и уплотнительного сальника 4. Диаметр проходного отверстия в корпусе обычно невелик и составляет 4—5 мм. Конструкция такого устройства достаточно проста, но обеспечивает герметичность при давлениях 16 МПа и выше.

Установка одного, широко используемого, игольчатого клапана (рис. 8.20, *а*) не разрешает проблем с продувкой соединительных линий, проверкой «нуля» прибора, слива среды из внутренней полости при замене прибора. Для этого рекомендуется устанавливать блок клапанов (см. гл. 9) либо игольчатый клапан со сливом со сбросным болтом (рис. 8.20, *б* и 8.19, *в*). Сбросной болт 5 имеет заостренный наконечник (в корпусе клапана под его посадку изготавливается гнездо). При закрытии клапана — вворачивании штока до упора в посадочное гнездо — и перекрытии подачи измеряемой среды к манометрическому прибору (перед его снятием) выворачивается сбросной болт и сливается среда, оставшаяся во внутренней полости измерителя. Таким образом обеспечивается безопасность работ, заключающаяся в недопустимости попадания остатков измеряемой среды на оператора, занимающегося обслуживанием устройства.

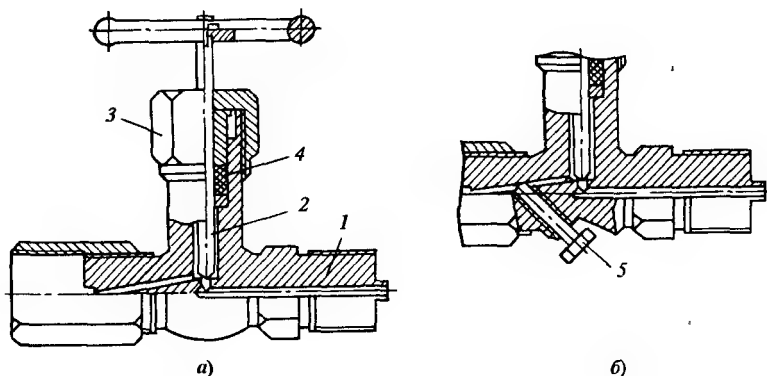


Рис. 8.20. Стальной запорный игольчатый клапан:

а — традиционная модель, *б* — со сбросным болтом, 1 — корпус, 2 — шток, 3 — накидная гайка, 4 — уплотнительный сальник, 5 — сбросной болт

При более высоких давлениях применяется такой же игольчатый клапан (см. рис. 8.19, *д*), только в более прочном кованном из металла корпусе.

До настоящего времени в промышленности очень редко использовались системы контрольных манометров при средних и высоких давлениях. Это объясняется как известно автору, отсутствием устройств, обеспечивающих необходимое подсоединение. С появлением игольчатых клапанов с присоединительным штуцером (см. рис. 8.19, *з*, *е*) эта проблема может быть решена. При этом подсоединение контрольного манометра к присоединительному штуцеру производится с помощью резьбовой втулки.

Для подключения дифференциальных манометров и измерительных преобразователей разности давлений применяют схему из нескольких игольчатых клапанов (см. рис. 9.11). Она достаточно трудоемка, и для ее упрощения (как при изготовлении, так и при установке) некоторые компании предлагают для подключения измерительного прибора применять блок игольчатых клапанов (рис. 8.21).

Подвод измеряемых сред «плюсового» и «минусового» давлений осуществляется через резьбовые вводы 1 и 2, размещенные в корпусе блока 3. Измеряемая среда через них поступает в рабочий канал 4, который в закрытом состоянии разделяется уравнительным клапаном 5 на две автономные линии. Это не позволяет контактировать средам «плюсового» и «минусового» давлений. Среда «плюсового» давления при открытом клапане подвода 6 поступает на выход 8.

Работа блока игольчатых клапанов, а также включение с его помощью измерительного преобразователя разности давлений рассмотрены в п. 9.4.

При замене манометрических приборов без отключения технологических линий (при отсутствии трехходовых кранов) может применяться запорный клапан, выполненный в виде переходника (рис. 8.22).

В корпусе 1 переходника установлен шток 2 с пружиной 4. В пазу на конце штока размещен резиновый сальник. При отсутствии манометра пружина воздействует на шток и прижимает резиновый сальник к посадочному гнезду корпуса. При вворачивании в корпус переходника манометра его держатель нажимает на шток и «топит» его в посадочном гнезде. Между резиновым сальником и корпусом появляется зазор, обеспечивающий доступ измеряемой среды к внутренней полости чувствительного элемента прибора.

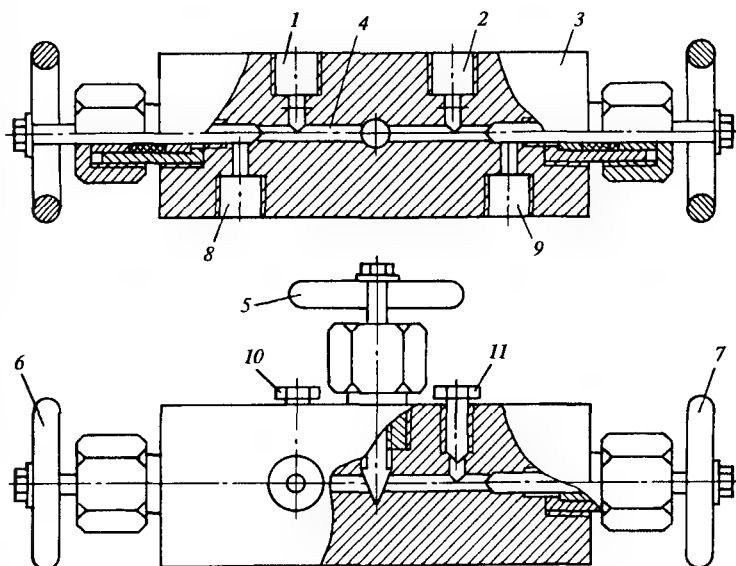


Рис. 8.21. Блок игольчатых клапанов для подключения дифманометра:

1, 2 — резьбовые вводы сред «плюсового» и «минусового» давлений, 3 — корпус, 4 — рабочий канал, 5 — уравнивающий клапан, 6, 7 — клапаны подвода сред «плюсового» и «минусового» давлений соответственно, 8, 9 — выходы сред «плюсового» и «минусового» давлений, 10, 11 — штуцеры продувки

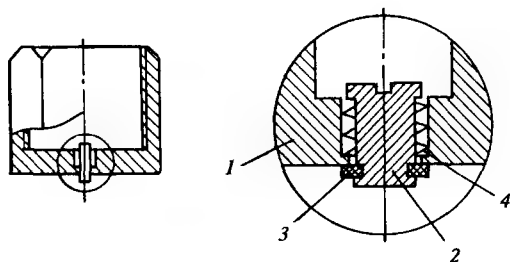


Рис. 8.22. Запорный клапан в виде переходника:

1 — корпус, 2 — шток, 3 — резиновый сальник, 4 — пружина

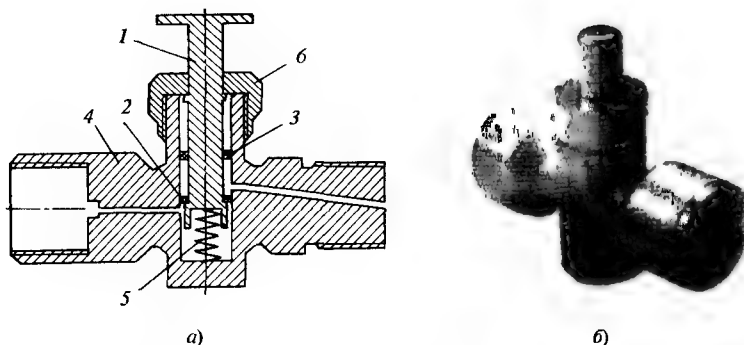


Рис. 8.23. Схема (а) и вид (б) кнопочного включателя манометрического прибора:

1 — толкатель, 2 — нижний уплотнитель, 3 — верхний уплотнитель, 4 — корпус, 5 — пружина, 6 — накидная гайка

Для случаев, когда необходимо периодически контролировать давление, предусмотрен кнопочный включатель манометрического прибора, одна из конструкций которого представлена на рис. 8.23.

На толкателе 1 на определенном расстоянии друг от друга закреплены нижний 2 и верхний 3 автономные уплотнители. Они обеспечивают герметичность относительно как окружающей среды, так и линий, с которыми соединены. Например, нижний уплотнитель соединен с внутренней полостью манометрического прибора, присоединяемого к выходу корпуса 4 включателя. При этом сохраняется изолированность этой полости от линии подвода среды измеряемого давления.

Наличие на толкателе упоров, а также пружины 5 и накидной гайки 6 создает устойчивое положение включателя.

При нажатии на толкатель происходит перемещение нижнего и верхнего уплотнителей. Линия подвода измеряемого давления соединяется с внутренней полостью измерительного прибора.

Кнопочные включатели в силу своих конструктивных особенностей получили распространение для измерения давлений до 1,6 МПа.

В сервисных центрах, метрологических лабораториях часто по различным причинам случаются «передавливания» эталонных измерителей, когда на прибор подается среда, параметры которой значительно превышают предельный, в результате чего трубочная

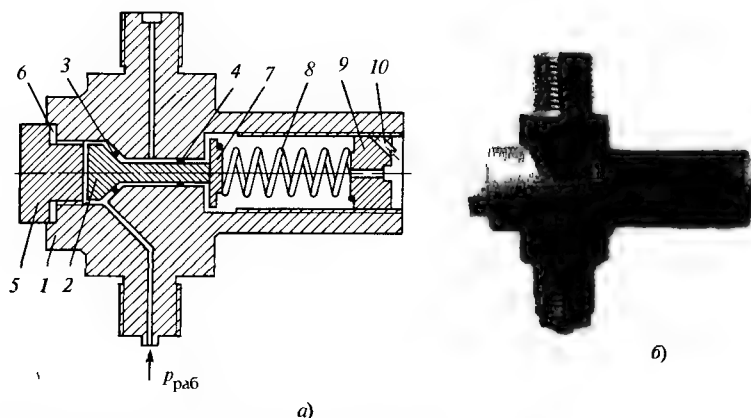


Рис. 8.24. Схема (а) и вид (б) предохранительного клапана:

1 — корпус, 2 — запорный поршень, 3, 4 — уплотнители, 5 — пробка, 6 — уплотнительная прокладка, 7 — площадка, 8 — пружина, 9 — опорный штуцер, 10 — контрующий винт

пружина деформируется и становится непригодной для дальнейшего использования. Для исключения таких режимов предусматривается предохранительный клапан, устанавливаемый перед измерителем, обеспечивающий сброс рабочей среды и перекрытие подводящего канала к внутренней полости измерителя при превышении предельного давления.

Конструкции предохранительных клапанов различны. Так, на рис. 8.24 представлены схема и вид клапана, функционирующего на основе поршня с двойным уплотнением.

В рабочем гнезде корпуса 1 размещен запорный поршень 2 с уплотнителями 3 и 4. Торец гнезда поршня герметично закрыт пробкой 5 с уплотнительной прокладкой 6. С обратной стороны поршня размещена площадка 7 с прижимной пружиной 8, которая вторым своим концом опирается на опорный штуцер 9. Устойчивая фиксация штуцера обеспечивается контрующим винтом 10.

Устройство работает следующим образом. Рабочая среда давлением $p_{\text{раб}}$ через подводящий штуцер и канал поступает в рабочее гнездо корпуса. При условии, когда рабочее давление меньше предельного, т.е. $p_{\text{раб}} < p_{\text{пред}}$, среда давлением $p_{\text{раб}}$ минуя, зазор между рабочим гнездом и запорным поршнем, поступает в выход-

ной канал клапана. При $p_{\text{раб}} > p_{\text{пред}}$ рабочее давление действует на запорный поршень, который садится в гнездо корпуса и перекрывает уплотнителем подачу среды в выходной канал.

Положение опорного штуцера, перемещаемого по резьбовому каналу корпуса, задает состояние прижимной пружины и соответственно величину предельного давления.

Предел срабатывания предохранительного клапана устанавливается на тарировочных стендах путем изменения положения опорного штуцера. Окончательно установленное его положение фиксируется контрующим винтом.

Несоблюдение правил монтажа и установки манометрических приборов может приводить к существенным погрешностям измерения. Оптимальной является установка манометрических приборов согласно разработанной технической документации. При ее отсутствии и невозможности разработки, а также в случаях, казалось бы, «простых» решений рекомендуется тщательно изучить приведенную ниже информацию об основных правилах монтажа и внедрении манометрических измерителей или обратиться к другой литературе по аналогичной теме. Кроме того, необходимо выдерживать все требования, указанные в сопроводительной технической документации на прибор.

Уточним наиболее распространенные термины и названия:

- *импульсная линия* — трубопроводная линия, соединяющая прибор с местом отбора пробы,
- *сифонная трубка* — трубка, относящаяся в большинстве случаев к стандартной закладной конструкции, соединяющая пробоотборник (место отбора пробы) с трехходовым краном, игольчатым клапаном или блоком игольчатых клапанов,
- *узел отбора* включает непосредственно пробоотборник и сифонную трубку. Он также может включать запорный блок, состоящий из трехходового крана или игольчатого клапана (блока игольчатых клапанов),
- *пробоотборник* — приспособление, обеспечивающее отбор пробы из объема измеряемой среды и направляемое в сифонную трубку или импульсную линию,
- *отборное устройство* — конструкция, предназначенная для установки пробоотборника при измерении малых давлений

9.1. Общие положения

При организации измерений одним из основных требований является обеспечение представительности отбора пробы из потока измеряемой среды, т.е. параметры среды на входе в измерительный прибор и параметры среды в измеряемом объеме не должны различаться. Актуален этот вопрос и для измерения давления.

Ввод в движущийся поток конструктивного элемента приводит к возникновению динамического давления p_d , определяемого из формулы

$$p_d = \zeta \rho (w^2/2), \quad (9.1)$$

где ζ — коэффициент местного сопротивления; ρ — плотность среды, кг/м^3 ; w — скорость потока, м/с .

Если принять коэффициент местного сопротивления равным 1 (значение ζ для традиционных конструктивов колеблется от 0,5 до 1,5), то при скорости потока 20 м/с , плотности газозвдушного потока, например, 2 кг/м^3 (плотность газа колеблется от 0,09 до 9,8 кг/м^3) дополнительное давление, Па, в месте отбора пробы может составлять

$$p_d = 1 \cdot 2(20^2/2) = 400.$$

При низких давлениях среды в газопроводе, например 800 Па, погрешность может составлять 50 % измеряемой величины. При более высоких плотностях и скоростях потоков динамическое давление, являющееся «помеховым» фактором, возрастает. Следовательно, отбор пробы необходимо осуществлять без ввода пробоотборника непосредственно в поток. Рекомендуемые способы монтажа пробоотборников на трубопроводе показаны на рис. 9.1.

Пробоотборник 2 приваривается к трубопроводу 1 без непосредственного ввода этого устройства в приготовленное отверстие. Причем при изготовлении в трубопроводе отверстия электро- или газосваркой необходимо избегать наплывов и окалины, а при изготовлении отверстия сверлением — заусенцев на внутренней поверхности трубопровода.

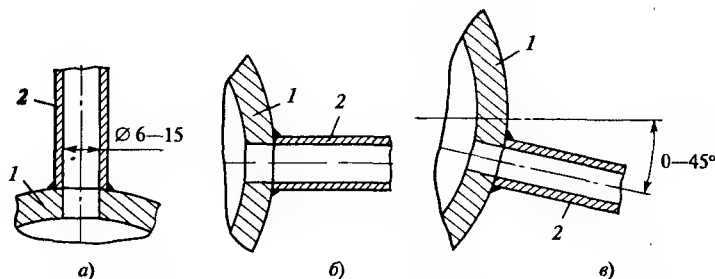
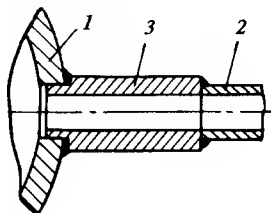


Рис. 9.1. Способы установки пробоотборников давления:

а — на вертикальной образующей трубопровода, б — на горизонтальной стенке, в — отвод под наклоном, 1 — трубопровод, 2 — пробоотборник

Рис. 9.2. Присоединение сифонной трубки при высоких параметрах среды:

1 — трубопровод, 2 — сифонная трубка, 3 — штуцер



При высоких давлениях рекомендуется производить отбор пробы с помощью специального штуцера, выполняющего роль пробоотборника (рис. 9.2).

Для давлений до 20 МПа и температуры 450 °С штуцеры изготавливают по типовым чертежам. Для сред более высоких параметров их проектируют индивидуально. Рекомендуемый внутренний диаметр пробоотборников, сифонных трубок, импульсных линий для жидкостей, паров составляет 6—15 мм, но для иных сред это значение может существенно изменяться (см. § 8.3). Основным требованием является исключение появления эффекта «дресселя», когда при изменениях величины давления измеряемой среды происходит запаздывание импульса давления, поступающего из импульсной линии. Отверстие малого диаметра часто приводит к загрязнению пробоотборников и соответственно к закупорке всей линии.

При применении стеклянных жидкостных манометров для отбора пробы из объема измеряемой среды в экспериментальных условиях рекомендуется сверлить по перпендикулярной направляющей отверстие в стенке диаметром не менее 0,5—1,5 мм, а в эксплуатационных условиях — приблизительно 4 мм. Пробоотборник, если необходимо его использовать, вводят в отверстие, исключая его выход за внутреннюю стенку канала. Ввод пробоотборника непосредственно в исследуемый поток, как это отмечено выше, может привести к существенным погрешностям измерения.

Особое внимание при монтаже манометрических приборов следует уделять прокладке импульсных линий, в качестве которых применяются бесшовные холоднотянутые и холоднокатанные трубы из углеродистой или нержавеющей стали наружным диаметром 8, 10, 14 или 22 мм и толщиной стенки не менее 1 мм.

Большая длина импульсных линий, их существенные гидравлические сопротивления могут приводить к значительному транспортному запаздыванию сигнала измеряемого давления, а в условиях динамических процессов — к погрешности измерения. Поэтому длина импульсных линий не должна превышать 30—50 м в зависимости от давления, внутреннего диаметра этих линий, вязкости измеряемой среды. В большинстве случаев расстояние

от точки отбора измеряемой среды до прибора ограничивается 50 м, но для мембранных измерителей давления оно сокращается до 30 м. Для приборов серии «Сапфир» рекомендуемая длина импульсной линии составляет 15 м. Диаметр импульсных линий может варьироваться также в зависимости от индивидуальных условий размещения прибора.

Конструкции импульсных линий должны исключать возможность нахождения внутри них иного фазового состояния вещества — пробок. Для устранения газовых или паровых пробок на верхней части импульсных гидравлических линий устанавливаются воздухобросные устройства — газосборники, а на газо- и воздухопроводах в нижней их точке предусматриваются влаго- или конденсатоудалители — отстойные сосуды. Удаление воздушных пробок или конденсата может обеспечиваться наклоном импульсной линии (обычно с уклоном не менее 1:10) при измерении давления воздуха или газа — в сторону места отбора пробы, жидкостей и водяного пара — в сторону измерительного прибора. При невозможности реализации определенного направления наклона импульсной линии должен обеспечиваться наклон, гарантирующий удаление пробок с помощью продувочного устройства.

При измерении перепада (расхода) сред с помощью дифманометров необходимо обеспечивать идентичность температурных режимов для обеих импульсных линий, так как нагревание или охлаждение жидкости в одной из трубок приводит к изменению ее плотности и соответственно к дополнительной погрешности.

Если манометр устанавливается на значительном расстоянии или в непосредственной близости от точки замера, то он должен находиться на уровне точки отбора пробы. Это исключает влияние на показания прибора добавочного давления столба жидкости. В противном случае в показания манометра вносится поправка на величину столба жидкости, или она учитывается при градуировке.

Соединение импульсных линий друг с другом, а также с проботобором осуществляется при низких давлениях на экспериментальных установках с помощью гибких шлангов. В промышленных условиях применяется пара штуцер—накидная гайка с прокладкой между ними. Для средних давлений (до 10 МПа) наиболее распространен вариант уплотнения конус по конусу (рис. 9.3, а).

Такой тип соединения достаточно надежный, но требует качественной подгонки конусных стыков. Менее требовательны к точности установки соединения шар по конусу (рис. 9.3, б).

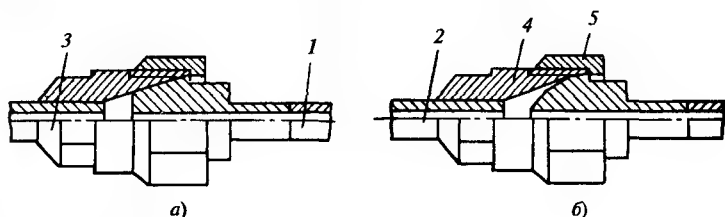


Рис. 9.3. Варианты соединения импульсных линий:

a — конус по конусу, *б* — шар по конусу, 1, 2 — трубопровод, 3, 4 — штуцеры, 5 — накидная гайка

При монтаже измерительных приборов с разгрузочными отверстиями или продувочными каналами как рекомендуют EN 837-2 [8], необходимо обеспечивать расстояние от места возможного выброса среды до ближайшего предмета не менее 20 мм.

При высоких давлениях (свыше 10 МПа) для соединения импульсных линий наиболее часто применяется сварка.

Конструкции кранов и клапанов различных моделей, предназначенных для монтажа манометрических приборов согласно правилам технической эксплуатации, описаны в § 8.3. Здесь рассмотрим способы присоединения к трехходовому крану с дополнительным фланцем или игольчатому клапану с дополнительным штуцером подконтрольный манометр (рис. 9.4). Между контрольным манометром 1 и техническим прибором 2 монтируется трехходовой кран 3 или при более высоких давлениях — игольчатый клапан.

Наибольшее распространение получил способ крепления (рис. 9.4, *a*) контрольного манометра упорной пластиной 4 через стопорное кольцо 5 к фланцу 6. Стопорное кольцо имеет внутреннюю резьбу и наворачивается на держатель с резьбой контрольного манометра. Упорная пластина оснащена центральным пазом под присоединительный штуцер контрольного манометра, а также двумя отверстиями под болтовые стяжки. Эти отверстия идентичны пазам фланца трехходового крана. Между присоединительным штуцером контрольного манометра и фланцем размещается прокладка 7. Натяжением болтовых соединений 8 обеспечивается герметичность подсоединения контрольного манометра. Вместо болтового соединения могут применяться специальные конструкции струбцин, что не меняет принципа соединения.

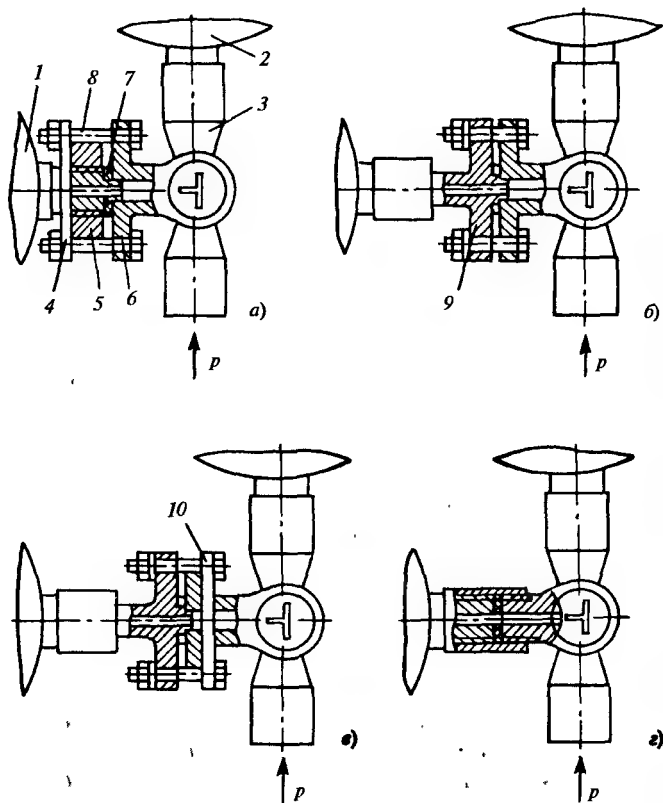


Рис. 9.4. Способы подсоединения контрольного манометра:

а — упорной пластиной через стопорное кольцо к фланцу, *б* — фланец к фланцу, *в* — упорной пластиной фланец к фланцу, *г* — штуцер к штуцеру через накидную гайку, 1 — контрольный манометр, 2 — технический манометр, 3 — трехходовой кран, 4 — упорная пластина, 5 — стопорное кольцо, 6 — фланец, 7 — прокладка, 8 — болтовое соединение, 9 — соединитель, 10 — упорная пластина

В методе подсоединения контрольного манометра фланец к фланцу (рис. 9.4, *б*) к известной конструкции трехходового крана добавляется соединитель 9, один конец которого оснащен фланцем, идентичным по форме фланцу трехходового крана. Это обеспечивает возможность достаточно несложного соединения двух фланцев между собой. Другой конец соединителя выполнен в виде

посадочного гнезда манометра. Длина соединителя, т.е. расстояние между фланцем 6 трехходового крана и контрольным манометром, определяется конструкцией или при индивидуальном изготовлении принимается исходя из удобства проведения контрольных работ.

В некоторых трехходовых кранах фланец выполняется круглым и не имеет пазов под болтовые соединения. В этих случаях для крепления контрольного манометра рассмотренными способами — упорной пластиной через стопорное кольцо к фланцу (рис. 9.4, а) или фланец к фланцу (рис. 9.4, б) — используется дополнительная упорная пластина 10 или трубка, выполняющая объединяющую функцию упорной пластины и болтового соединения (рис. 9.4, в).

Наиболее часто в настоящее время применяют способ подсоединения контрольного манометра к трехходовому крану или игольчатому клапану штуцер к штуцеру через накидную гайку (рис. 9.4, г), когда у трехходового крана вместо фланца имеется штуцер. При таком варианте штуцер трехходового крана и штуцер контрольного манометра соединяются через прокладку с помощью накидной гайки.

В ряде случаев непосредственно перед контрольным манометром устанавливается дополнительный запорный клапан, обеспечивающий безопасность и удобство проведения контрольных замеров.

На оборудовании с высокими давлениями продувка линий и сброс среды из внутренней полости манометра осуществляются (при отсутствии клапанов со сливом или со штуцером под контрольный манометр) при помощи специально установленного узла с клапанами подвода и продувки (рис. 9.5).

Подвод импульсной линии (рис. 9.5) к манометру 1 осуществляется через подводящий клапан 2. Клапан продувки 3 предусматривает возможность продувки импульсной линии, а также позволяет удостовериться в отсутствии измеряемой среды с определенным давлением при замене или демонтаже манометра.

Измеритель давления должен устанавливаться, как отмечалось ранее таким образом и с привлечением таких устройств, чтобы объем его чувствительного элемента в рабочем состоянии был заполнен веществом в соответствии с обозначениями на шкале прибора. При отсутствии на шкале специальных обозначений этот пункт требований опускается.

Общие требования, предъявляемые к монтажу систем измерения давления, должны строго соблюдаться. Однако при работе

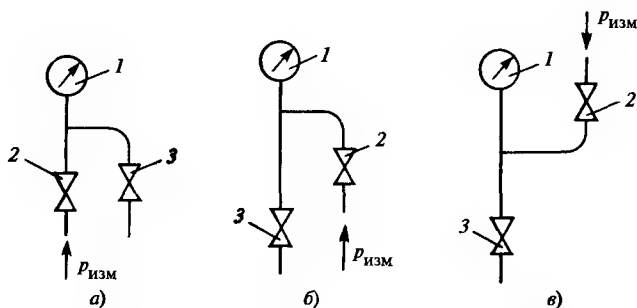


Рис. 9.5. Схемы монтажа манометров при использовании узла с игольчатыми клапанами:

а, б — подвод среды снизу, *в* — подвод среды сверху, *1* — манометр, *2* — клапан подвода среды, *3* — клапан продувки

с отдельными типами приборов необходимо также соблюдать специальные требования, о которых речь пойдет ниже.

9.2. Измерение давления газов, пара, жидкостей

Одним из основных требований, обеспечивающих заявленный класс точности, является размещение измерителя в температурных режимах, определенных техническими условиями на это измерительное устройство. Особенно это актуально для показывающих приборов, так как они в большинстве случаев располагаются в непосредственной близости от точки замера параметров. Это является одной из наиболее часто встречающихся ошибок. Так, несложный расчет по (1.7) показывает, что измерения, проводимые показывающим манометром класса точности 2,5 при температуре окружающей среды -50°C , могут приводить к дополнительной погрешности до 7 %.

Кроме воздействия температуры окружающего воздуха, существенное влияние на точность показания прибора может оказывать температура измеряемой среды, которая подводится к внутренней полости чувствительного элемента. И если температура окружающего воздуха является нормируемым параметром, то влиянием температуры среды, находящейся в объеме чувствительного элемента, в большинстве случаев пренебрегают. Часто наблюдается установка манометрических приборов непосредственно на трубопроводе пара промышленных параметров ($p = 0,6 \text{ МПа}$ при $t = 140^{\circ}\text{C}$) без

сифонных отводов или других устройств, обеспечивающих охлаждение подводимой среды. Простой анализ показывает, что при установке измерителя в непосредственной близости от паропровода температуры в последнем и в отводящей линии могут различаться только на несколько градусов.

Температура измеряемой среды оказывает первостепенное воздействие на металл чувствительного элемента и затем — на металл трибо-секторного механизма. При этом температурное влияние на погрешность измерения при $t > 60^\circ\text{C}$ не нормировано, и только отдельные наблюдения показывают, что температурный коэффициент прибора с увеличением температуры существенно возрастает.

При невысоких температурах измеряемой среды (до 70°C) допускается монтаж приборов без специальных устройств, что не исключает необходимости корректировки показаний манометров повышенной точности и эталонных на дополнительную температурную погрешность. На рис. 9.6, а, б показаны варианты отбора пробы невысокой температуры с верхней и боковой образующих объема газа, пара, жидкости. Однако длина и конструкция отводов должны выбираться в зависимости от температуры измеряемой среды и, как правило, составлять от 0,05 до 2 м.

Для исключения или уменьшения влияния температуры измеряемой среды на результат измерения при $t > 70^\circ\text{C}$ рекомендуется применять различного рода понижающие температуру устройства.

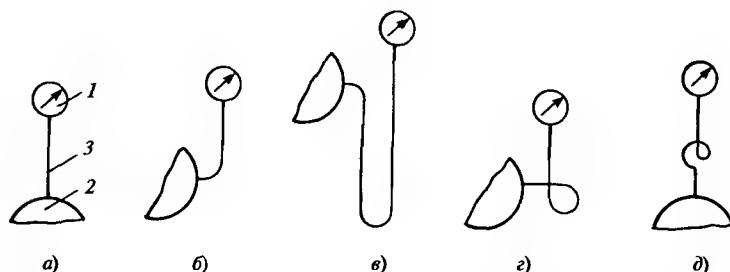


Рис. 9.6. Схемы узлов отбора пробы давления среды от верхней и боковой образующих трубопровода с различным исполнением сифонного отвода:

а — прямая верхняя, б — с боковым гибом, в — U-образная, г — петельная, д — кольцевая, 1 — манометрический прибор, 2 — трубопровод с измеряемой средой, 3 — отвод

Ранее были широко распространены U-образные сифонные отводы (рис. 9.6, в), которые сейчас заменяются на петельные (рис. 9.6, г), отличающиеся меньшей металлоемкостью и большей жесткостью конструкции.

Традиционные кольцевые сифонные отводы (рис. 9.6, д) используются при работе в широком диапазоне температур измеряемой среды. Обычно применяются отводы с радиусомгиба петли около 50 мм. Однако в последнее время все чаще применяются отводы европейского стандарта с малой петлей (радиус составляет около 28 мм). Эти отводы компактны, менее металлоемки. Такого размера петли также достаточно для обеспечения работоспособности манометрического прибора при измерениях на высокотемпературных средах.

Сифонные U- и кольцеобразные отводы (рис. 9.6, в, г, д) используются для соединения пробоотборника с измерителем давления. Во многих случаях роль пробоотборника, как это часто имеет место на прямой верхней образующей (рис. 9.6, а) и с боковым гибом (рис. 9.6, б), может выполнять свободный конец сифонного отвода. К другому концу сифонного отвода приваривается футорка, представляющая собой штуцер с резьбой для подсоединения к трехходовому крану или игольчатому клапану.

Для местного теплоотвода могут использоваться стандартные охладители (рис. 9.7). Размеры охладителя, а также материал, из которого он изготавливается, выбираются в зависимости от рабочей температуры. Например, для среды температурой до 200 °С диаметр теплоотводных ребер при длине рабочей части 80 мм составляет 27 мм. При 300 °С и длине рабочего участка 108 мм диаметр ребер принимается равным 40 мм.

Сифонные трубки, импульсные линии, запорная арматура в целях повышения надежности работы и снижения температуры рабочей жидкости, поступающей в измерительный прибор, не должны теплоизолироваться.

Размеры узла отбора давления среды приведены на рис. 9.8.

Однако при размещении измерительного прибора, выборе размеров отборного устройства, внесении поправок на внешние помеховые факторы необходим индивидуальный подход.

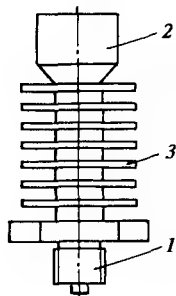


Рис. 9.7. Охладитель подвода среды:

1 — входной штуцер, 2 — гнездо измерителя, 3 — теплоотводящие ребра

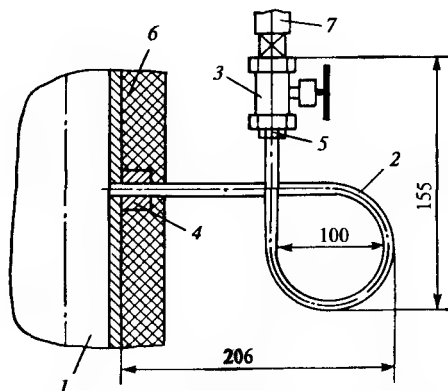


Рис. 9.8. Узел отбора давления для газа, пара, жидкости при давлении 16 МПа и температуре до 200 °С:

1 — трубопровод, 2 — сифонный отвод, 3 — клапан, 4 — штуцер, 5 — футорка, 6 — теплоизоляция

После монтажа всех сопутствующих конструкций перед включением в работу манометрического измерителя с помощью трехходового крана или игольчатого клапана со сливом продувают прободоотборник, сифонную трубку, импульсные линии. При измерении горячей жидкой среды выдерживается время для уравнивания температуры в сифонном отводе с температурой окружающей среды. При измерении давления пара также выдерживается определенное время, необходимое для конденсации в узле отбора и снижения температуры конденсата до температуры окружающей среды. После этого подключается манометрический прибор.

При большой длине импульсных линий последние могут выполнять роль сифонных отводов и обеспечивать нормальную температуру отбираемой пробы. Большая длина импульсных линий и сифонных отводов требует крепления измерителя к устойчивой опоре для исключения передачи на прибор значительных вибраций, изменения его положения в пространстве.

Демонтаж приборов с устройства для создания давления не допускается при значениях давления в системе, превышающих:

0,1 МПа — для устройств с верхним пределом измерений свыше 10 МПа;

0,05 МПа — для остальных манометрических приборов.

9.3. Измерение близких к атмосферному давлений газовых сред

Измерение низких значений избыточного или вакуумметрического давлений особенно актуально для тепловых и атомных электростанций, котельных и вентиляционных установок.

Узлы отбора давления из газоздушных потоков на теплоэнергетических объектах имеют конструктивные отличия (рис. 9.9). Основным является установка отборного устройства 2 и пробоотборника 3 под наклоном в сторону отбора — газохода 1.

Н.А. Рыжов и А.М. Гуров [37] рекомендуют угол наклона принимать равным 7° . Встречаются и другие рекомендации. Так, С.Ф. Чистяков [38] предлагает устанавливать пробоотборник под углом 45° . Конструктивно пробоотборник устанавливается в отборном устройстве с помощью фланцевого соединения и болтового крепления. Длина отборного устройства принимается в зависимости от толщины стенки газохода.

Пробка 4 предназначена для периодической прочистки пробоотборника.

Импульсные линии и пробоотборники при малых значениях давлений изготавливаются из труб внутренним диаметром 20, 25 или 40 мм.

Газоздушные потоки, как правило, содержат большое количество взвешенных твердых частиц различных размеров. Поэтому в узле отбора пробы давления устанавливают циклон (рис. 9.10),

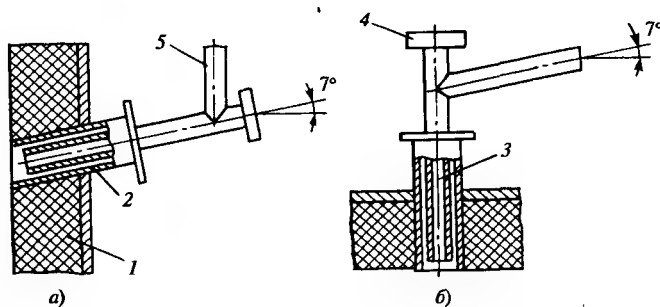


Рис. 9.9. Узел отбора при низких давлениях:

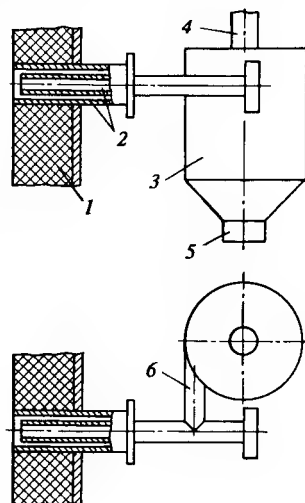
а — на вертикальной образующей, *б* — на горизонтали; 1 — газоход с металлической обшивкой; 2 — отборное устройство; 3 — пробоотборник; 4 — пробка; 5 — импульсная линия

Рис. 9.10. Узел отбора с циклоном:

1 — газоход; 2 — пробоотборник с отборным устройством; 3 — циклон, 4 — импульсная линия; 5 — пробка прочистки циклона; 6 — тангенциальный подвод пробы

выполняющий роль как сепаратора, разделяющего газовую и твердую составляющие анализируемого потока, так и демпферного объема, сглаживающего пульсирующее давление.

Анализируемая проба газовоздушного потока из газохода 1 с помощью пробоотборника с отборным устройством 2 и подвода 6 тангенциально вводится в циклон 3, где происходит разделение твердой и газовой фаз. Газовый поток посредством импульсной линии 4 подводится к измерительному прибору. Периодическая очистка циклона от накопившихся твердых частиц производится через пробку 5 прочистки циклона.



9.4. Монтаж измерительных преобразователей и дифманометров

Измерительные преобразователи давления, как правило, устанавливают в местах, удобных для обслуживания. Этим также достигается удаленность измерительного прибора от непосредственной точки измерения, что обеспечивает для такого класса приборов снижение влияния температуры на результат измерения.

Отличительной особенностью монтажа измерительных преобразователей избыточного давления является установка приборов ниже уровня импульсной линии. Эти линии и рабочие объемы чувствительных элементов приборов, в особенности, заполняются жидкой фазой. Для исключения в них воздушных пробок, для их продувки в узле подвода среды устанавливаются клапаны продувки линии 3 (рис. 9.11).

Монтаж измерительных преобразователей разности давлений существенно не отличается от описанных выше. Однако включение преобразователя, как и показывающего дифманометра, при больших статических давлениях, в работу требует выполнения ряда технологических операций и владения определенными навыками.

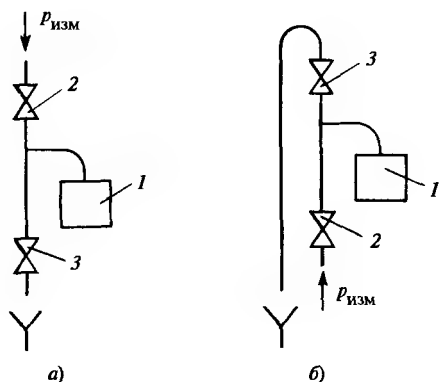


Рис. 9.11. Узлы подвода измеряемой среды к манометрическим приборам:

а — верхний подвод отбираемой пробы, *б* — нижний подвод отбираемой пробы, *1* — измерительный прибор, *2* — клапан подвода среды, *3* — клапан продувки линии

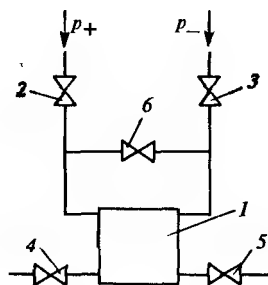


Рис. 9.12. Схема подключения измерительного преобразователя разности давлений:

1 — преобразователь, *2, 3* — клапаны подвода, *4, 5* — штуцеры продувки, *6* — уравнивательный клапан

Схема подключения измерительного преобразователя разности давлений показана на рис. 9.12. Преобразователь *1* подсоединяется к импульсным линиям с давлениями p_+ и p_- через клапаны подвода *2* и *3*. Для продувки подводящих линий, удаления воздушных пробок имеются штуцеры продувки *4* и *5*. Уравнивательный клапан *6* предназначен для подключения и отключения прибора в процессе пусконаладочных работ, при периодической проверке его работоспособности. Методика включения измерительного преобразователя разности давлений в работу заключается в следующем.

Импульсные линии с «плюсовым» и «минусовым» давлениями p_+ и p_- поочередно подключаются к измерительному преобразователю разности давлений *1* с помощью соответствующих клапанов подвода *2* и *3*. При этом уравнивательный клапан *6* для исключения подвода избыточного давления только к одной из камер преобразователя разности давлений должен быть открыт. С помощью штуцеров продувки *4, 5* из узла отбора и рабочих камер измерительного прибора удаляются воздушные пробки. После окончания этой операции и закрытия штуцеров продувки (при открытых кла-

Таблица 9.1

Рекомендуемые материалы для изготовления прокладок

Рабочая среда	Давление, МПа, не более	Температура, °С, не более	Материал, марка, толщина, мм
Вода, нейтральные растворы	0,6	60	Резина, каучук
	0,6	425	Картон латексный
	6,4	250	Парониг общего назначения типа ПОН толщиной 0,4—5,0
	16	300	Медь МЗ, отожженная, 0,4—10
	Без ограничений	250	Латунь Л62, 0,5—2,0
Газы и пары инертные	0,6	60	Резина, каучук
	0,6	425	Картон латексный
	1,6	100	Алюминий
	6,4	250	Паронит ПОН
	16	100	Алюминий АД1-М, 0,3—1,0
	Без ограничений	250	Латунь Л62
Масла	2,5	200	Резина маслостойкая
	4	50	Пластикат хлорвиниловый
	15	100	Фибра, 0,3—1,0
Мазут	6	300	Алюминий
	6,4	200	Паронит ПОН
	2,5	180	Парониг электрический типа ПЭ, 1,0—7,5
	15	100	Фибра, 0,3—1,0
	15	300	Медь МЗ
Кислоты, щелочи и другие агрессивные жидкости	0,6	100	Свинец С-2, 1—15
	0,6	250	Фторопласт-4
	2,5	100	Паронит типа ПЭ

панах подвода 2, 3) закрывается уравнильный клапан 6. После этого можно считать, что измерительный преобразователь разности давлений подключен к импульсной линии

По аналогичной схеме включается в работу измерительный преобразователь разности давлений с блоком игольчатых клапанов, показанных на рис. 8 19.

При соединении измерительного прибора с рабочей средой главное внимание необходимо уделять герметичности соединительных стыков. В данном случае высокие требования предъявляются к материалу используемых прокладок.

При работе с агрессивными средами, а также со средами, которые имеют повышенную активность по отношению к медным сплавам (например, с ацетиленом), не допускается применение прокладок из меди и медных сплавов, содержащих более 70 % этого металла. Недопустим также контакт медных сплавов с аммиаксодержащими средами (см. гл. 2). В качестве прокладок рекомендуется применять другого рода мягкие металлы и сплавы (табл. 9.1).

Наиболее часто при изготовлении прокладок для нормальных условий используется паронит, при измерении высоких давлений — медь и свинец. Однако необходимо обращать внимание на твердость материала. Медь должна быть в отоженном состоянии. Для небольших давлений могут также использоваться прокладки из кожи, фибры.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение 1

НЕКОТОРЫЕ ТЕРМИНЫ И ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПО ИЗМЕРЕНИЯМ, МЕТРОЛОГИИ И МЕТРОЛОГИЧЕСКОЙ СЛУЖБЕ [5, 6, 19, 39 и др.]

Абсолютная погрешность измерения — погрешность измерения, выраженная в единицах измеряемой величины

Аккредитация лабораторий — официальное признание того, что лаборатория субъекта хозяйствования правомочна осуществлять поверку или калибровку конкретных типов или видов средств измерений

Аналоговый измерительный преобразователь — измерительный преобразователь, преобразующий одну аналоговую величину в другую, например в выходной измерительный сигнал

Аналоговый измерительный прибор — измерительный прибор, показания которого являются непрерывной функцией измерений измеряемой величины

Аналого-цифровой измерительный преобразователь — измерительный преобразователь, предназначенный для преобразования аналогового измерительного сигнала в цифровой код

Ведомственная поверка средства измерений — поверка средства измерений, производимая ведомственными органами метрологической службы

Вид средства измерений — совокупность средств измерений, предназначенных для измерения данной физической величины

Влияющая физическая величина — физическая величина, не являющаяся измеряемой данным средством измерений, но оказывающая влияние на результаты измерений этим средством

Внеочередная поверка средства измерений — поверка средства измерений, производимая до наступления срока его очередной периодической поверки

Входной сигнал средства измерений — сигнал, поступающий на вход средства измерений

Выходной сигнал средства измерений — сигнал, получаемый на выходе средства измерений

Государственная поверочная схема — поверочная схема, распространяющаяся на все средства измерений данной физической величины

Государственная поверка средства измерений — поверка средства измерений, производимая органами Государственной метрологической службы

Государственные испытания средств измерений — экспертиза технической документации на вновь разрабатываемые средства измерений и их экспериментальные исследования, проводимые органами государственной метрологической службы или по их поручению, для определения степени соответствия средств измерений установленным нормам, потребностям народного хозяйства и современному уровню развития приборостроения, а также целесообразности их производства.

Государственный эталон единицы величины — эталон единицы величины, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории Российской Федерации.

Государственный метрологический контроль — деятельность, осуществляемая государственной метрологической службой по утверждению типа средств измерений, поверке средств измерений (включая рабочие эталоны), по лицензированию деятельности юридических и физических лиц по изготовлению, ремонту, продаже и прокату средств измерений.

Государственный метрологический надзор — деятельность, осуществляемая государственной метрологической службой по надзору за выпуском, состоянием и применением средств измерений (включая рабочие эталоны), за аттестованными методиками измерений, соблюдением метрологических правил и норм, за количеством товаров при продаже, а также за количеством фасованных товаров в упаковках любого вида при их расфасовке и продаже.

Государственный первичный эталон — первичный эталон, признанный решением уполномоченного на то государственного органа в качестве исходного на территории государства.

Градуировка средств измерений — определение градуировочной характеристики средства измерений.

Градуировочная характеристика средства измерений — зависимость между значениями величин на входе и выходе средства измерений, полученная экспериментально.

Действительное значение физической величины — значение физической величины, определенное экспериментальным путем и максимально приближенное к истинному значению и которое в поставленной измерительной задаче может его заменить.

Деление шкалы — промежуток между двумя соседними отметками шкалы средства измерений.

Деформационный манометр — манометр, принцип действия которого основан на зависимости деформации чувствительного элемента или развиваемой им силы от измеряемого давления.

Диапазон измерений — область значения измеряемой величины, для которой нормированы допускаемые погрешности средства измерений.

Диапазон показаний — область значений шкалы, ограниченная конечным и начальным значениями шкалы.

Динамическая погрешность средства измерений — разность между погрешностью средства измерений в динамическом режиме и его статической погрешностью, соответствующей значению величины в данный момент времени.

Длина деления шкалы — расстояние между осями (или центрами) двух соседних отметок шкалы, измеренной вдоль воображаемой линии, проходящей через середины самых коротких отметок шкалы.

Длина шкалы — расстояние между крайними отметками шкалы, отсчитанное по дуге окружности или по прямой линии, проходящей через середины наименьших отметок.

Дрейф показаний средства измерений — изменение показаний средства измерений во времени, обусловленное изменением влияющих величин или других факторов.

Зона нечувствительности средства измерений — диапазон значений измеряемой величины, в пределах которого ее изменения не вызывают выходного сигнала средства измерений.

Единица физической величины — физическая величина, которой по определению присвоено числовое значение, равное 1.

Единство измерений — состояние измерений, при котором их результаты выражены в узаконенных единицах и погрешности измерений не выходят за установленные границы с заданной вероятностью.

Законодательная метрология — раздел метрологии, предметом которого является установление обязательных технических и юридических требований по применению единиц физических величин, эталонов, методов и средств измерений, направленных на обеспечение единства и необходимости точности измерений в интересах общества.

Значение физической величины — оценка размера физической величины в виде какого-то числа принятых единиц измерения.

Измерение — пахождение значения физической величины опытным путем с помощью специальных технических средств.

Измерение физической величины — совокупность операций по сравнению измеряемой величины с единицей физической величины и представление ее в форме, наиболее удобной для использования.

Измерительная информация — информация о значениях измеряемых физических величин.

Измерительное устройство — часть измерительного прибора или измерительной системы, имеющая выделенную обособленную конструкцию и назначение.

Измерительный контроль — контроль, осуществляемый с применением средств измерений.

Измерительный механизм средства измерений — часть элементов средства измерений, которые вызывают необходимое перемещение указателя, например стрелки.

Измерительный преобразователь — средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, удобной для передачи, дальнейшего преобразования, обработки, хранения, но не воспринимающийся визуально.

Измерительный прибор — средство измерений, предназначенное для выработки сигнала измерительной информации в форме, доступной для непосредственного восприятия наблюдателем.

Измерительный прибор прямого действия — измерительный прибор, в котором предусмотрено одно или несколько преобразований сигнала измерительной информации в одном направлении (без применения обратной связи).

Измерительный прибор сравнения — измерительный прибор, предназначенный для непосредственного сравнения измеряемой величины с известной.

Индикатор — техническое средство или вещество, предназначенное для установления наличия какой-либо физической величины или превышения уровня ее порогового значения.

Инспекционная поверка — поверка средства измерений, производимая при ревизии средств измерений.

Инструментальная погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, зависящая от погрешностей применяемых средств измерений.

Испытания средств измерений — обязательные испытания образцов средств измерений в сферах распространения государственного метрологического контроля и надзора с целью утверждения типа средств измерений.

Истинное значение физической величины — значение физической величины, идеально отражающее качественные и количественные отношения, соответствующие этому параметру.

Исходный эталон — эталон, обладающий наивысшими метрологическими свойствами (в данной лаборатории, организации, на предприятии), от которого передают размер единицы подчиненным эталонам и имеющимся средствам измерений.

Калибровка средств измерений — совокупность операций, устанавливающих соотношение между значением величины, полученным с помощью данного средства измерений и соответствующим значением величины, определенным с помощью эталона в целях определения действительных метрологических характеристик этого средства измерений.

Компаратор — средство сравнения, предназначенное для сличения мер однородных величин.

Конечное значение шкалы — это наибольшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений.

Косвенное измерение — определение искомого значения физической величины на основании результатов прямых измерений других физических величин, функционально связанных с искомой величиной.

Коэффициент преобразования измерительного преобразователя — отношение сигнала на выходе измерительного преобразователя, отображающего измеряемую величину, к вызывающему его сигналу на входе преобразователя.

Манометр с вялой мембраной — деформационный манометр, в котором измеряемое давление воспринимается вялой мембраной и преобразуется в силу, уравнивающую дополнительную устройством.

Мембранный манометр — деформационный манометр, в котором чувствительным элементом является мембрана или мембранная коробка.

Мера — средство измерений, предназначенное для воспроизведения физической величины заданного размера.

Метод измерений — совокупность приемов использования принципов и средств измерений.

Метод поверки средства измерений — метод передачи размера единицы от вышестоящих в поверочной схеме средств измерений нижестоящим.

Метод непосредственной оценки — метод измерений, в котором значение величины определяют непосредственно по отсчетному устройству измерительного прибора прямого действия.

Метод сравнения с мерой — метод измерений, в котором измеряемую величину сравнивают с величиной, воспроизводимой мерой.

Метрологическая аттестация средств измерений — признание метрологической службой узаконенным для применения средства измерений единичного производства (или ввозимого единичными экземплярами из-за границы) на основании тщательных исследований его свойств.

Метрологическая исправность средства измерений — это состояние средства измерений, при котором все нормируемые метрологические характеристики соответствуют установленным требованиям.

Метрологическая надежность средства измерений — это надежность средства измерений в части сохранения его метрологической исправности.

Метрологическая служба — служба, создаваемая в соответствии с законодательством для выполнения работ по обеспечению единства измерений и для осуществления метрологического контроля и надзора.

Метрологическая характеристика средства измерений — это характеристика одного из свойств средства измерений, влияющая на результат измерений и на его погрешность.

Метрологическая экспертиза — анализ и оценивание экспертами-метрологами правильности применения метрологических требований, правил и норм, в первую очередь связанных с единством и точностью измерений.

Метрологические измерения — измерения с использованием эталонов и образцовых средств измерений для целей воспроизведения единиц физических величин и передачи их размера рабочим средствам измерений.

Метрология — наука об измерениях, методах и средствах обеспечения их единства и способах достижения требуемой точности.

Начальное значение шкалы — это наименьшее значение измеряемой величины, которое может быть отсчитано по шкале средства измерений.

Наблюдение при измерении — операция, проводимая при измерении и имеющая целью своевременно и правильно произвести отсчет.

Неравномерная шкала — шкала с делениями непостоянной длины, а в некоторых случаях и с непостоянной ценой деления.

Нормальное рабочее положение — положение прибора с вертикальным расположением циферблата (допускаемое отклонение $\pm 5^\circ$ в любую сторону).

Нормальные условия применения средств измерений — условия, при которых влияющие величины имеют нормальные значения или находятся в пределах нормальной области значений.

Нулевой метод измерений — метод сравнения с мерой, в котором результирующий эффект воздействия величин на прибор сравнения доводят до нуля.

Образцовое средство измерений (терминология в настоящее время не применяется) — мера, измерительный прибор или измерительный преобразователь, служащие для поверки по ним других средств измерений.

Основная единица физической величины — единица основной физической величины, выбранная произвольно и утвержденная соответствующим государственным органом стандартизации.

Отметка шкалы — знак на шкале средства измерений (черточка, зубец, точка и др.), соответствующий некоторому значению измеряемой физической величины.

Относительная погрешность — отношение абсолютной погрешности измерения к истинному значению измеряемой величины.

Первичная поверка средства измерений — первая поверка средства измерений, производимая при выпуске его из производства или ремонта.

Первичный измерительный преобразователь — измерительный преобразователь, к которому подведена измеряемая величина, т.е. первый в измерительной цепи со стороны измеряемой величины.

Первичный эталон — эталон, обеспечивающий воспроизведение единицы с наивысшей в стране (по сравнению с другими эталонами той же единицы) точностью.

Переменное давление — давление, плавно и многократно возрастающее и убывающее по любому периодическому закону со скоростью от 1 до 10 % диапазона показаний (записи) в секунду.

Периодическая поверка средства измерений — поверка средства измерений, производимая при его эксплуатации и хранении через определенные промежутки времени.

Печатающий измерительный прибор — регистрирующий измерительный прибор, в котором предусмотрено печатание показаний в цифровой форме.

Поверитель — специалист поверочной лаборатории, проводящий поверку измерительных средств и имеющий соответствующее удостоверение.

Поверительное клеймо — знак, наносимый на средства измерений и удостоверяющий фактор их поверки и признания годными к применению.

Поверка средства измерения — определение метрологическим органом погрешностей средств измерений и установление его пригодности к применению.

Поверочная схема для средств измерений — нормативный документ, устанавливающий соподчинение средств измерений, участвующих в передаче размера единицы от эталона рабочим средствам измерений (с указанием методов и погрешностей при передаче).

Поверочная установка — измерительная установка, укомплектованная рабочими эталонами и предназначенная для поверки других средств измерений и подчиненных рабочих эталонов.

Погрешность измерения — отклонение результата измерения от истинного значения измеряемой величины.

Погрешность поверки — погрешность измерений при поверке средств измерения.

Подтверждение типа средств измерений — правовой акт органов государственной метрологической службы, заключающийся в признании соответствия выпускаемых серийно средств измерений ранее утвержденному типу.

Показывающий измерительный прибор — измерительный прибор, допускающий только отсчитывание показаний.

Постоянное давление — давление, не изменяющееся или плавно изменяющееся по времени со скоростью не более 1 % диапазона показаний (записи) в секунду.

Предел измерений — наибольшее или наименьшее значение диапазона измерений.

Промежуточный измерительный преобразователь — измерительный преобразователь, находящийся в цепи после первичного преобразователя.

Принцип измерений — совокупность физических явлений, на которых основаны измерения.

Принцип действия средства измерений — физический принцип, положенный в основу построения средств измерений данного вида.

Прямое измерение — измерение, при котором искомое значение величины определяют непосредственно из опытных данных.

Пульсирующее давление — давление, многократно возрастающее и убывающее по любому периодическому закону со скоростью свыше 10 % диапазона показаний (записи) в секунду.

Равномерная шкала — шкала с делениями постоянной длины и с постоянной ценой деления.

Рабочее средство измерений — средство измерений, применяемое для измерений, не связанных с передачей размера единиц.

Рабочие условия применения средств измерений — условия, при которых значения влияющих величин находятся в пределах рабочих областей.

Рабочий эталон — эталон, предназначенный для передачи размера единицы рабочим средствам измерений.

Размерность физических величин — выражение, отражающее связь величины с основными величинами системы, в котором коэффициент пропорциональности принят равным 1.

Регистрирующий прибор — измерительный прибор, в котором предусмотрена регистрация показаний.

Результат наблюдения — значение величины, получаемое при отдельном наблюдении.

Результат измерения — значение величины, найденное путем ее измерения.

Самопишущий измерительный прибор — регистрирующий измерительный прибор, в котором предусмотрена запись показаний в форме диаграммы.

Сертификат об утверждении типа средств измерений — документ, выдаваемый уполномоченным на то государственным органом, удостоверяющий, что данный тип средств измерений утвержден в порядке, предусмотренном действующим законодательством, и соответствует установленным требованиям.

Сертификат о калибровке — документ, удостоверяющий факт и результаты калибровки средств измерений, который выдается организацией, осуществляющей калибровку.

Сигнал измерительной информации — сигнал, функционально связанный с измеряемой физической величиной.

Сигнализатор давления — средство контроля, начинающее или прекращающее выдавать выходной сигнал при достижении заданного давления.

Сильфонный манометр — деформационный манометр, в котором чувствительным элементом является сильфон.

Система единиц физических величин — совокупность основных и производных единиц, созданная в соответствии с принятыми принципами для заданной системы физических величин.

Система физических величин — совокупность физических величин, связанных между собой зависимостями.

Систематическая погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, остающаяся постоянной или закономерно изменяющаяся при повторных измерениях одной и той же величины.

Системная единица физической величины — основная или производная единица системы единиц.

Сличение средства измерений — сравнение средства измерений с эталонным или образцовым средством измерений того же вида для определения систематических погрешностей.

Случайная погрешность измерения — составляющая погрешности измерения, изменяющаяся случайным образом при повторных измерениях одной и той же величины.

Смещение нуля — показание средства измерений, отличное от нуля, при входном сигнале, равном нулю.

Среднее квадратическое отклонение результата наблюдения — параметр функции распределения результатов наблюдений, характеризующий их рассеивание и равный корню квадратному из дисперсии результата наблюдения.

Средства поверки — это эталоны, поверочные установки и другие средства измерений, применяемые при поверке в соответствии с установленными правилами.

Средство измерения — техническое устройство, предназначенное для измерений.

Сходимость измерений — качество измерений, отражающее близость друг к другу результатов измерений, выполняемых в одинаковых условиях.

Технические измерения — измерения с помощью рабочих средств измерений.

Тип средства измерений — это совокупность средств измерений одного и того же назначения, основанных на одном и том же принципе действия, имеющих одинаковую конструкцию и изготовленных по одной и той же технической документации.

Точностные характеристики — характеристики свойств изделий, оказывающие влияние на соответствие реализуемых функций номинальным функциям изделия.

Точность измерений — качество измерений, отражающее близость их результатов к истинному значению измеряемой величины.

Транспортируемый эталон — эталон (иногда специальной конструкции), предназначенный для его транспортирования к местам поверки (калибровки) средств измерений или сличений эталонов данной единицы.

Трубчато-пружинный манометр — это деформационный манометр, в котором чувствительным элементом является трубчатая пружина.

Узкопределный манометр — манометр с безнулевой шкалой.

Утверждение типа средств измерений — решение (уполномоченного на это государственного органа управления) о признании типа средств

измерений узаконенными для применения на основании результатов их испытаний государственным научным метрологическим центром или другой специализированной организацией, аккредитованной Госстандартом страны

Физическая величина — одно из свойств физического объекта (физической системы, явления или процесса), общее в качественном отношении для многих физических объектов, но в количественном отношении индивидуальное для каждого из них

Физический параметр — физическая величина, рассматриваемая при измерении данной физической величины как вспомогательная

Хранение единицы — совокупность операций, обеспечивающих неизменность во времени размера единицы, присущего данному средству измерений

Цена деления шкалы — это разность значений величины, соответствующих двум соседним отметкам шкалы средства измерений

Цифровой измерительный прибор — измерительный прибор, автоматически вырабатывающий дискретные сигналы измерительной информации, показания которого представлены в цифровой форме

Цифроаналоговый измерительный преобразователь — измерительный преобразователь, предназначенный для преобразования числового кода в аналоговую величину

Числовая отметка шкалы — отметка шкалы средства измерений, у которого проставлено число

Чувствительность средства измерений — свойство средства измерений, определяемое отношением изменения выходного сигнала этого средства к вызывающему его изменению измеряемой величины

Чувствительный элемент средства измерений — часть первого в измерительной цепи измерительного преобразователя, воспринимающая входной измерительный сигнал

Шкала средства измерения — часть показывающего устройства средства измерений, представляющая собой упорядоченный ряд отметок вместе со связанной с ними нумерацией

Эталон единицы величины — средство измерений, предназначенное для воспроизведения и хранения единицы величины (или кратных либо дольных значений единицы величины) в целях передачи ее размера другим средствам измерений данной величины

Юстировка средств измерений — совокупность операций по доведению погрешностей средств измерений до значений, соответствующих техническим требованиям

Приложение 2

Таблица приставок к единицам измерения СИ

Приставка	Краткое обозначение	Значение	Приставка	Краткое обозначение	Значение
дека	да	10^1	деци	д	10^{-1}
гекто	г	10^2	санتي	с	10^{-2}
кило	к	10^3	милли	м	10^{-3}
мега	М	10^6	микро	мк	10^{-6}
гига	Г	10^9	нано	н	10^{-9}
тера	Т	10^{12}	пико	п	10^{-12}
пета	П	10^{15}	фемто	ф	10^{-15}
экса	Э	10^{18}	атто	а	10^{-18}

Приложение 3

Физические свойства разделительных жидкостей

Тип разделительной жидкости	Плотность при 20 °С, г/см ³	Температура замерзания, °С	Температура кипения, °С
Глицерин	1,25	-17	290
Водно-глицериновая смесь (1/1)	1,13	-22,5	106
Дибутилфталат	1,05	-35	340
Этиленгликоль	1,12	-12	197
Водно-этиленгликолевая смесь (1/1)	1,07	-36	110
Трансформаторное масло	0,88	-45	135

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

- 1 **Преображенский В.П.** Теплотехнические измерения и приборы М Энергия, 1978
- 2 **Чистяков С.Ф., Радун Д.В.** Теплотехнические измерения и приборы М Высшая школа, 1972
- 3 **Иванова Г.М., Кузнецов Н.Д., Чистяков В.С.** Теплотехнические измерения и приборы М Энергоатомиздат, 1984
- 4 **ГОСТ 2405-88.** Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напорометры, тягомеры и тягонапорометры М Изд-во стандартов, 1989
- 5 **Закон Российской Федерации** «Об обеспечении единства измерений», № 4871-1 от 27 04 93
- 6 **РМГ 29-99** «ГСП Метрология Основные термины и определения» М Изд-во стандартов, 2000 (Вместо ГОСТ 16263-70)
- 7 **EN 837-1.** Pressure gauges — Part 1 Bourdon tube pressure gauges, Dimensions, metrology, requirement and testing, German version, 1996
- 8 **EN 837-2.** Pressure gauges — Part 2 Selection and installation recommendations for pressure gauges, German version, 1997
- 9 **EN 837-3.** Pressure gauges — Part 3 Diaphragm and capsule pressure gauges, Dimensions, metrology, requirement and testing, German version, 1996
- 10 **ГОСТ 8.271-77.** Средства измерений давления Термины и определения М Изд-во стандартов, 1979
- 11 **ГОСТ 8.240-77.** Преобразователи измерительные разности давлений ГСП с унифицированными токовыми выходными сигналами Методы и средства поверки М Изд-во стандартов, 1986
- 12 **ГОСТ 12997-84.** Изделия ГСП Общие технические условия М Изд-во стандартов, 1997
- 13 **ГОСТ 14254-96.** Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (код IP) М ИПК Изд-во стандартов, 2002
- 14 **Гост Р 513300.0-99 (МЭК 60079-0-98)** Электрооборудование взрывозащищенное Часть 0 Общие требования М ИПК Изд-во стандартов, 2000
- 15 **Мулёв Ю.В.** К вопросу о системе условных обозначений приборов теплотехнического контроля, измерения и регулирования / Тезисы докладов на международной научно-практической конференции «Метрология-97» Минск, 1997 С 149—150
- 16 **ГОСТ 8.271-77.** Средства измерений давления Термины и определения М Изд-во стандартов, 1979

- 17 **Андреева Л.Е.** Упругие элементы приборов М Машиностроение, 1981
- 18 **Метрологические** характеристики упругих чувствительных элементов, применяемых в манометрии Методы их определения Международная рекомендация № 53 М Международная организация законодательной метрологии, 1986
- 19 **ГОСТ 12.2.052-81.** Оборудование, работающее с газообразным кислородом Общие требования безопасности М ИПК Изд-во стандартов. 2002
- 20 **ПР 50.2.002-94 ГСИ.** Порядок осуществления государственного метрологического надзора за выпуском, состоянием и применением средств измерений, аттестованных методиками выполнения измерений, эталонами и соблюдением метрологических правил и норм
- 21 **ПР 50.2.006-99 ГСИ.** Поверка средств измерений Организация и порядок проведения
- 22 **ОСТ 26-04-2158-78.** Средства измерения расхода и давления Требования безопасности при применении в среде газообразного кислорода НПО «Криогенмаш», 1978
- 23 **ГОСТ 18140-84.** Манометры дифференциальные ГСП Общие технические условия М Изд-во стандартов, 1989
- 24 **Гуляев М.А., Ерюхин А.В.** Измерение вакуума М Изд-во стандартов, 1967
- 25 **Эстеркин Р.И., Иссерлин А.С., Певзнер М.И.** Теплотехнические измерения при сжигании газового и жидкого топлива Л Недра, 1981
- 26 **ГОСТ 2252-85.** Датчики давления, разрежения и разности давлений с электрическими аналоговыми выходными сигналами ГСП Общие технические условия М Изд-во стандартов, 1989
- 27 **ГОСТ 8.513-84 ГСИ.** Поверка средств измерений М ИПК Издательство стандартов, 2001
- 28 **ПР 50.2.009-94.** Порядок проведения испытаний и утверждения типа средств измерений М Госстандарт России. 1994
- 29 **МИ 2273-93.** Области использования средств измерений, подлежащих поверке М ВНИИМС, 1993
- 30 **Сергеев А.Г., Латышев М.В., Терегеря В.В.** Метрология. стандартизация, сертификация Учебное пособие М Логос, 2003
- 31 **ПР 50.2.007-94 ГСИ.** Поверительные клейма М Госстандарт России, 1994
- 32 **ПР 50.2.016-94 ГСИ.** Требования к выполнению калибровочных работ М Госстандарт России, 1994
- 33 **Правила** проведения аккредитации метрологических служб юридических лиц на право поверки средств измерений Утверждены поста-

- новлением Госстандарта России от 17 12 02 № 124 и зарегистрирован Минюстом России 27 01 03
- 34 **ПР 50.2.018-95 ГСИ.** Порядок аккредитации метрологических служб юридических лиц на право проведения калибровочных работ
- 35 **МИ 2124-90 ГСИ.** Манометры, вакуумметры, мановакуумметры, напоромеры, тягомеры и тягонапоромеры показывающие и самопишущие Методика поверки М ВНИИМС, 1990
- 36 **Преобразователи** давления измерительные Методика поверки ГСИ Рекомендация М МПО «Манометр» и ВНИИМИСП, 1989
- 37 **Справочник** по монтажу приборов и средств автоматизации / Н А Рыжов, А М Гуров, В С Манин, О Г Кутяева М ГПКИ «Проектмонтажавтоматика», 1992
- 38 **Чистяков С.Ф.** Проектирование, монтаж и эксплуатация систем управления теплотехническими объектами Учебник для вузов М Энергия, 1980
- 39 **Основные термины** в области метрологии Словарь-справочник / М Ф Юдин, М Н Селиванов, О Ф Лиценко, А И Скороходов, Под ред Ю В Тарбеева М Изд-во стандартов, 1989

ПРЕДМЕТНЫЙ УКАЗАТЕЛЬ

А

Абсолютное давление 12, 16
Аккредитация лабораторий 199, 261
Аммиак 33, 65
Аммиачный манометр 60
Аммиачные среды 35
Арматура 235
Атмосфера 13
Атмосферное давление 12, 16
Аттестация метрологическая 265
Ацетилен 33, 65

Б

Бар 14
Барометр 17
Барометрическое давление 12
Блок игольчатых клапанов 240
Бурдона пружина 44, 47

В

Вакуумметрическое давление 13, 16
Вакуумметры 16
Взрывозащищенный манометр 110
Вибрации 18
Виброустойчивый манометр 34, 62
Вид измеряемого давления 15
Винтовая пружина 44
Влияние температуры 29, 42, 162
Включатель кнопочный 63, 242
Воздействие вибраций 20
Воздействие окружающей среды 18
Водород 33, 65
Воды воздействие 23
Волосковая спиральная пружина 46, 49
Вторая цифра в «IP» 23
Выбор манометрических приборов 34
Вязкие среды 35
Выходной сигнал 113

Г

Газ 65
Газовый манометр 36, 65
Гистерезис 41, 47
Государственная поверка 175
Государственные испытания 262
Градуировка 262
Грузопоршневые манометры 17, 179, 201

Д

Давление 12
— абсолютное 12
— атмосферное 12
— вакуумметрическое 12, 13
— дифференциальное 12, 16
— избыточное 12
— перегрузочное 31
— пульсирующее 50, 63, 225, 268
— индикатор 66
Датчик 112
Деление шкалы 262
Демпферные устройства 225
Демпфирование 229
Демонтаж 255
Держатель 54
Деформационный манометр 39, 191
Деформационный чувствительный элемент 40
Деформация 39
— микропластическая 42
— остаточная 52
Диаметр корпуса 28, 37, 59, 61, 65
Диапазон измерений 33, 38, 262
Диапазон уставок 22
Диапазон показаний 24, 262
Дифференциальное давление 12
Дифференциально- трансформаторная схема 155

Дифференциальный манометр 16, 73
Дифманометр 16, 73, 84, 91, 257
Дифманометр-расходомер 74
Диэлектрическая проницаемость 119
Длина рычага, тяги 49
Допустимое отклонение
— показаний 193
— температуры 29
Допустимые пределы
перегрузки 31

Е

Единица измерения 13, 31
Емкостный преобразователь 119, 150
Емкостный сенсор 134, 150

Ж

Жидкостные манометры 17, 92
Жидкость 33
— рабочая 205, 219
— разделительная 219, 232, 271
Жировые загрязнения 68

З

Заполнение 193
— манометра 64
Запорный клапан 241
Защищенность 18
Защищенный корпус 63
Зубчатая передача 50
Зубчатый механизм 48

И

Игольчатый клапан 238
Избыточное давление 12, 16
Изгибающий момент 39
Измерение 263
— давления 252
— косвенное 265
— метод 265
— прямое 267
— техническое 269
Измеритель мембранный 79

Измерительная колонка 180 201
Измерительное устройство 263
Измерительный
— механизм 263
— преобразователь 112, 130, 145, 165, 196, 209, 257
— прибор 264
Импульсная линия 245
— соединение 248
Индикатор 66, 264
Индуктивные контакты
сигнализирующих манометров 107
Индуктивность 121, 138, 158
Индуктивный преобразователь 122
Инспекционная поверка 175
Интервал межповерочный 174
Испытания государственные 262
Исходный эталон 178

К

Калибровка 177, 199, 264
Калибровщик 199
Камера разделительная 70
Кислородная среда 67
Кислородный манометр 67
Клапан
— аварийный 65
— игольчатый 238
— запорный 239
— под контрольный манометр 240
— со сливом 239
— предохранительный 243
Класс точности 27, 32, 34, 38, 49, 74, 124
Классификация приборов
измерения 15
Клеймо калибровочное 178
— поверительное 176
Кнопочный включатель 242
Колонка измерительная 180
Компенсационный метод
измерения давления 222
Коробка мембранная 46, 77, 87, 154, 195

Корпус

- защищенный 63
- цвет окраски 65
- Корпуса диаметр 28, 37, 59, 61 65
- Коррозионно-стойкие манометры 35, 60
- Контакт 104, 107
- Контактные реле 41
- Контроль обезжиривания 72
- Контрольный манометр 18
- Коэффициент
 - запаса 42
 - действенности деформации 117
 - преобразования 265
 - температурный 29
 - тензочувствительности 117
- Кран трехходовой 235
- Кристаллизующиеся вещества 35

Л

- Линия импульсная 245

М

- Мановакуумметр 16, 188
- Манометр 16
 - абсолютного давления 16
 - аммиачный 60
 - взрывозащищенный 110
 - виброустойчивый 62
 - газовый 65
 - грузопоршневой 17, 179, 201
 - деформационный 17
 - дифференциальный 73, 84, 203
 - жидкостный 17, 92
 - кислородный 35, 67, 208
 - кольцевой 101
 - контрольный 18
 - коррозионно-стойкий 35, 60
 - мембранный 79
 - общепромышленный 17, 35, 59
 - однотрубный 99
 - показывающий 54
 - с вялой мембраной 17, 265
 - с трубчатой пружиной 204

Манометр 16

- самопишущий 166
- сильфонный 79, 84
- сигнализирующий 104
- специальный 35, 60
- стеклянный 92
- U-образный 93
- чашечный 98
- фреоновый 61, 206
- электроконтактный 208
- эталонный 18, 206
- электрический 17
- электроконтактный 108, 208
- Масло
 - контроль отсутствия 72
- Межповерочный интервал 69, 174
- Мембрана 46, 77, 83, 87, 195
 - гофрированная 89
 - разделительная 221
 - сапфировая 131
- Мембранная коробка 77, 87, 154, 195
- Мембранный манометр 79, 84
 - разделитель 213
- Механизм
 - зубчатый 48
 - передаточный 49, 80, 82
- Микровыключатель 111
- Микроманометр 17, 100
- Многовитковая пружина 44
- Монтаж 245, 257
- Мультипликатор 184

Н

- Напор 13, 196
- Напоромер 16, 79, 195
- Нелинейность упругой характеристики 41
- Нумерация шкалы 32

О

- Обезжиривание 72
- Обозначение 60
 - «IP» 21
- Общепромышленные манометры 53

Одновитковая пружина 44
Окружающая среда 200
Отборное устройство 245
Охладитель 254

П

Первичная поверка 174
Первичный преобразователь 145
Переустановочное усилие 41
Периодическая поверка 174
Поверитель 199
Поверка 174, 200, 207
— внеочередная 174
— государственная 175
— первичная 174
— периодическая 174
Поверительное клеймо 176
Погрешность
— абсолютная 207
— датчиков 115
— срабатывания 109, 208
Подчиненный эталон 178
Показывающий манометр 54
Правила
— калибровки 198
— монтажа 245
— поверки 198
Пределы измерения 24, 147
Преобразователь
— абсолютного давления 129
— избыточного давления 129
— разрежения 129
— аналого-цифровой 170
— емкостный 119, 150
— измерительный 112, 145, 209, 253
— индуктивный 122
— колокольный 159
— на основе резонанса 161
— первичный 127, 145
— пьезоэлектрический 124, 143
— разности давлений 147
— тензометрический 130
— цифроаналоговый 172
— электромагнитный 121, 137, 153
Предохранительный клапан 243
Присоединительные резьбы 31
Присоединительный штуцер 59

Приставка электропреобразовательная 142
Пробоотборник 245
Прокладка уплотнительная 68, 259
Промышленные приборы 53, 108, 129, 147
Пульсации 63, 226
Пульсирующее давление 63
Пьезоэффект 124
Пьезоэлектрический преобразователь 124, 143

Р

Рабочая жидкость 205, 219
Рабочее положение прибора 33
Рабочий диапазон измерений 22
Рабочий ход 40
Рабочий эталон 178, 192, 199
Разделитель 211, 223
— гигиенический 216
— лепестковый 218
— мембранный 211
— малогабаритный 216
— пальчиковый 217
— сильфонный 218
Разделительная жидкость 232
Разделительная камера 70
Разрывная мощность 110
Регистрация давления 164
Регулировка манометра 49
Резонатор 161

С

Самопишущий манометр 166
Сапфировая мембрана 131
Сенсор 112, 132, 134, 150, 163
Сечения пружины 51
Сигнализирующее устройство 104
Сигнализирующий манометр 104
Сифонная трубка 245
Сильфон 46, 77, 141
Сильфонный манометр 79, 84
Соединение импульсных линий 248
Соотношение между единицами 14
Система кодификации 18
Специальные манометры 60

Спиральная пружина 44, 49
 Способы подсоединения 250
 Среда окружающая 200
 Сосуды разделительные 231
 Сосуды уравнительные 232
 Стекланный манометр 92
 Степени защиты от воздействия воды 21, 23
 ————— внешних предметов 21
 Стрелка контрольная 66
 Схема
 — заполнения 193
 — индуктивных контактов 107
 — трансформаторная 123, 138, 155
 Схемы сигнализирующего манометра 105

Т

Температура окружающей воды 29
 Температурная шкала 61
 Температурный диапазон 30
 Термоманометр 61
 Тензопреобразователи 116, 130, 148
 Технология изготовления 52
 Трехходовой кран 235
 Трубка сифонная 245
 Трубчатая пружина 47, 50, 166
 Трубчато-пружинный манометр 47
 Тяга 13, 196
 Тягомер 16, 79
 Тягонапоромер 16, 79

У

U-образные манометры 93
 Узел отбора 245, 253, 256
 Указатель сигнализирующего устройства 104
 Уравнительные сосуды 232
 Условные обозначения 33, 36
 Уставка 104
 Устойчивость к вибрациям 18, 20
 — к влажности 19
 — к температуре 19
 Устройство демпферное 225
 — отборное 245
 Утверждение типа 175

Х

Характеристика
 — грузопоршневого манометра 181
 — мембран 78
 — нелинейность 41
 — пьезоматериалов 126
 — разделителей 213
 — статическая 51
 — упругая 40
 — условная линейная 40

Ф

Фрсоновый манометр 61

Ц

Циферблат 54

Ч

Чашечные манометры 98
 Чувствительность 41
 Чувствительный элемент 39, 43, 54, 113, 116
 — упругий 39
 — трубчатый 16, 48
 — мембранный 16

Ш

Штуцер присоединительный 55

Э

Экспертная поверка 175
 Электрическая схема 105
 Электроконтактный манометр 108, 208
 Электромагнитный преобразователь 121, 137, 153
 Элемент чувствительный 39, 43, 54, 113, 116
 Эталон
 — исходный 178
 — первичный 178
 — рабочий 178, 192, 199
 Эффект пьезоэлектрический 124

Производственно-практическое издание

Мулёв Юрий Владимирович

МАНОМЕТРЫ

Редактор издательства *Н Л Пароева*

Художник *А Ю Землеруб*

Технический редактор *Т А Дворецкова*

Корректор *Е П Севастьянова*

Компьютерная верстка *Н В Пустошиной*

ЛР № 020528 от 05 06 97 г

Подписано в печать с оригинала-макета 19 08 03

Формат 84×108/32

Бумага офсетная

Гарнитура Таймс

Печать офсетная

Усл печ л 14,7

Усл-кр отт 15,5

Уч -изд л 14,0

Тираж 5000 экз

Заказ

Издательство МЭИ, 111250, Москва, Красноказарменная ул , д 14

Интернет-адрес [http //www mpei-publishers ru](http://www.mpei-publishers.ru)

E-mail publish@mpei-publishers.ru

Тел/факс 362-02-13

Отпечатано в полном соответствии с качеством предоставленных диапозитивов
в типографии ООО "Юстмаж" ЛП № 453 от 19 06 2001г , заказ 392
220090, г Минск, ул Кнорина, 50